Document public

Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués

Rapport final

BRGM/RP-65179-FR

Octobre 2015

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués

Rapport final

BRGM/RP-65179-FR
octobre 2015

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)
de Service public (Recherche) du BRGM 2015-RIS-20

V.Mardhel
Avec la collaboration de
R.Cochery, Th.Jacob, A. Genna, F.Touchard, M.Bickert

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : Emilie Vanoudheusden	Nom : Nicolas Pédron
Fonction : Directrice Auvergne	Fonction Directeur Aquitaine:
Date :	Date : 30/11/2015
Signature :	Signature :

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

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Avertissement

Document à accès différé

Mots-clés : RISQUE NATUREL, EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES, Ardoisières, Allassac, Corrèze, Limousin

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

V.Mardhel avec la collaboration de R.Cochery, Th. Jacob, A. Genna, F.Touchard, M.Bickert – Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués. Rapport final. BRGM/RP-65179-FR, 180 p., 170 fig., 3 ann.

© BRGM, 2015, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le BRGM réalise pour le compte de la DREAL Limousin l'étude complémentaire de huit zones d'aléa. Ces zones ont été définies à l'issue des travaux de l'évaluation préliminaire de la stabilité des chambres d'exploitation des ardoisières d'Allassac (19). Elle compose une analyse plus détaillée du risque lié aux anciennes exploitations sur les secteurs retenus.

Cette étude procède du croisement des résultats de campagnes géophysiques, de sondages d'investigation et des données actualisées de l'étude préliminaire de l'aléa initiée en 2013. Elle permet :

- L'identification et caractérisation des cavités découvertes s'il y a lieu,
- La rédaction d'un chapitre spécifique à chaque site dans lequel est identifié et décrit l'aléa ou les aléas observés, les enjeux présents et la remédiation possible,
- La cartographie, à l'échelle communale, de ces aléas mouvement de terrain sur les zones d'étude retenues est mise à jour.

Les huit zones initiales ont conduit à l'élaboration d'un tableau de synthèse représentant 12 secteurs. Cette subdivision en secteurs permet d'individualiser les mesures proposées pour chacun d'entre eux ; mesures d'informations, de mise en sécurité des biens et des personnes, de remédiation. La nature de l'aléa est identifiée pour chacun de ces secteurs.

Les aléas retenus dans le cadre de cette étude sont : l'aléa tassement / débourrage de puits, l'aléa effondrement de voûtes, et l'aléa lié au cône d'effondrement.

L'intensité des phénomènes redoutés est forte : les puits ont atteint 100 mètres de profondeur, les cavités ou chambres d'exploitation, lorsqu'elles ont pu être mesurées, présentent des vides de plusieurs dizaines de mètres de hauteur.

La prédisposition aux phénomènes redoutés est élevée à très élevée. Il s'est écoulé un peu plus d'un siècle depuis le début de l'exploitation de ces ardoises, environ 50 ans depuis la fin de l'exploitation de la dernière cavité souterraine. De plus :

- Il s'est déjà produit au moins trois évènements de types effondrement de voutes depuis 2011, quatre en incluant un accident en 1902.
- Des débourrages de puits se sont produits régulièrement, dans les années 1970 (puits N, L1,…), années 1980 (puits L1) et le plus récent en 2015 pour le puits B3 ; tous les puits remblayés se tassent de manière continue.
- Lorsque les terrains ne sont pas utilisés ou entretenus, les abrupts auprès des puits ou des cavités présentent des cônes d'effondrement. Ces derniers se mettent en place progressivement, en équilibre dans des terrains qui sont majoritairement couverts de remblais et débris d'ardoises par nature instables.

Tous les enjeux, voiries communales ou départementales, bâti industriel ou non, sont en zone à risques élevé à très élevé pour l'aléa effondrement et cône d'effondrement associé. Si un puits est situé dans l'emprise de l'enjeu, l'aléa tassement/débourrage de puits présente systématiquement un risque très élevé.
Pour le phénomène de cône d'effondrement, dont la prédisposition à se mettre en place est élevée mais dont la dynamique est lente le risque est moyen pour les enjeux humains par définition mobiles, il est élevé en revanche pour le bâti et les voies de communication.

Chapitres du rapport			§ 2. Site de la maison du Gardien	§ 3. Site : Bâtiments communaux-minotier	§ 3. Site : Bâtiments communaux-minotier	§ 3. Site : Bâtiments communaux-minotier	§ 4. Site de l'avenue des Ardoisières	§ 5. Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents	§ 5. Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents	§ 6. Site de la route du Temple	§ 7. Site de la route des Pissotes	§ 8. Site du puits du Saillant	§ 9. Site de la Chartroulle	§ 3. Site : Bâtiments communaux-minotier
Secteurs			**Maison dite du Gardien**	**Batiments communaux , Lapeyre**	**Minotier**	**Rue Antoine Bourdu**	**Avenue des ardoisières**	**Rabadan, casse automobile**	**Rue des Pénitents**	**Rue du temple**	**Rue des Pissotes**	**Route du Saillant (D148)**	**D9 - Chartroulle**	***SNCF***
Risques présents sur SITE	**Effondrement de voute de cavités**													
	Tassement/débourrage de puits													
	Cône d'effondrement													
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	Action proposée par ordre indicatif de priorité	1	**Information**	**Evacuation**	**Information**	**Information**	**Information**	**Evacuation**	**Information**	**Information**	**Information**	**Information**	**Information**	Information
		2	**Cloture parcelle**	***Usages restreints***	**Evacuation**	**Déviation**	**Déviation**		**Déviation**	**Limitation tonnage**	**Limitation tonnage**	**Déviation**	**Déviation**	
		3					***Limitation tonnage***					***Limitation tonnage***	***Limitation tonnage***	Suivi cavité en EAU (R et S)
		4											**Sécurité des puits**	

Sommaire

.

1. Gestion des risques liés aux anciennes activités ardoisières de la commune d'Allassac 19

1.1. CAVITES SOUTERRAINES ET EFFONDREMENTS 19

1.2. CONTEXTE GENERAL 20
Allassac, pays d'ardoises 20
Contexte géologique 21
Contexte hydrogéologique 23
Contexte historique 25
Etat actuel des connaissances sur le site des Ardoisières 26

1.3. RECONNAISSANCE DES SITES D'INVESTIGATION 28
Identification des zones d'aléas 28
Identification de la nature des aléas potentiels 29

1.4. TYPOLOGIE DES SITES ET DES RISQUES ASSOCIES 30

1.5. EVALUATION DU DEVENIR ACTUEL DES SITES, ALEA ET RISQUES 33

1.6. METHODOLOGIE DE DEFINITION DU RISQUE 33
Principes généraux 33
Tableaux d'indices et de prédisposition 34

1.7. DETERMINATION DES CLASSES D'ALEA ET ANALYSE DU RISQUE 40

1.8. TRAITEMENT DES SITES 41
Franchissement par pontage des zones à risques 41
Remplissage du vide (ou comblement) 41
Remédiation par des méthodes dites « PARACHUTES » 43

1.9. SUIVI DE SITE 44

2. Site de la maison du Gardien 46

2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE 48

2.2. ETAT DES CONNAISSANCES 49
Contexte historique 58

2.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE 59
Campagne de microgravimétrie 59

Réalisation de sondages 60
Dimensionnement de la cavité L2 61

2.4. ANALYSE DE L'ALEA, SITE DE LA PARCELLE DE LA MAISON ET VOISINAGE 62
Intensité des phénomènes redoutés (indices d'intensité) 62
Prédisposition aux phénomènes 62
Evaluation des aléas sur le site de la maison du gardien 65
Risques identifiés 67

2.5. REMEDIATION POSSIBLE 68
Mise en sécurité immédiate 68
Traitement de l'aléa 69
Traitement des enjeux 69

2.6. SUIVI DE SITE 69

2.7. SYNTHESE SITE 71

3. Site des bâtiments communaux et du minotier 72

3.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE : 74

3.2. ETAT DES CONNAISSANCES 75
Contexte historique 75

3.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DES HANGARS ET DU MINOTIER 78
Campagne de géophysique 78
Réalisation de sondages 79
Dimensionnement des cavités 80

3.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DES HANGARS ET DU MINOTIER 80
Intensité des phénomènes redoutés 81
Prédisposition aux phénomènes redoutés 81
Evaluation des aléas sur le site des bâtiments communaux et du Minotier 82
Risques identifiés 84

3.5. REMEDIATION POSSIBLE 85
Mise en sécurité immédiate 85
Traitement de l'aléa 85
Traitement des enjeux 85

3.6. SUIVI DE SITE 86

3.7. SYNTHESE SITE 87

4. Site de l'avenue des Ardoisières 88

4.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE : 89

4.2. ETAT DES CONNAISSANCES 90
Contexte historique 91
Désordres observés au sondage S4 94

4.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DE L'AVENUE DES ARDOISIERES 96
Campagne de géophysique 96
Réalisation de sondages. 97
Dimensionnement des cavités 97

4.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE L'AVENUE DES ARDOISIERES 98
Intensité des phénomènes redoutés 98
Prédisposition aux phénomènes redoutés 98
Evaluation des aléas sur le site de l'avenue des Ardoisières 99
Risques identifiés 101

4.5. REMEDIATION POSSIBLE 101
Mise en sécurité immédiate 101
Traitement de l'aléa 101
Traitement des enjeux 101

4.6. SUIVI DE SITE 102

4.7. SYNTHESE SITE 103

5. Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents 104

5.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE 105

5.2. ETAT DES CONNAISSANCES 106
Contexte historique 107

5.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DE LA RUE DES PENITENTS 107
Campagne de géophysique 107
Réalisation de sondages. 109
Dimensionnement des cavités 109

5.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE LA RUE DES PENITENTS 110
Intensité des phénomènes redoutés 110
Prédisposition aux phénomènes redoutés 110
Evaluation des aléas sur le site de la parcelle 01BX0324 et rue des Pénitents 111
Risques identifiés 113

5.5. REMEDIATION POSSIBLE 113
Mise en sécurité immédiate 113
Traitement de l'aléa 113
Traitement des enjeux 113

5.6. SUIVI DE SITE 114

5.7. SYNTHESE SITE 115

6. Site de la route du Temple 116

6.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE : 118

6.2. ETAT DES CONNAISSANCES 119

6.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DE LA ROUTE DU TEMPLE 121
Campagne de géophysique 121
Réalisation de sondages 122

6.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE LA ROUTE DU TEMPLE 123
Intensité des phénomènes redoutés 123
Prédisposition aux phénomènes redoutés 123
Evaluation des aléas sur le site de la route du Temple 124
Risques identifiés 126

6.5. REMEDIATION POSSIBLE 126
Mise en sécurité immédiate 126
Traitement de l'aléa 126
Traitement des enjeux 126

6.6. SUIVI DE SITE 127

6.7. SYNTHESE SITE 127

7. Site de la route des Pissotes 128

7.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE : 129

7.2. ETAT DES CONNAISSANCES 129
Contexte historique du site de la rue des Pissotes 131

7.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR SITE 132
Campagne de géophysique 132
Réalisation des sondages d'exploration 132
Dimensionnement de la cavité 134

7.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE LA ROUTE DES PISSOTES 135
Intensité des phénomènes redoutés 135
Prédisposition aux phénomènes redoutés 136
Evaluation des aléas sur le site de la rue des Pissotes 136
Risques identifiés 138

7.5. REMEDIATION ENVISAGEABLE 138
Mise en sécurité immédiate 138

Traitement de l'aléa 138
Traitement des enjeux 138

7.6. SUIVI DE SITE 139

7.7. SYNTHESE SITE 140

8. Site du puits du Saillant....141

8.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE....142

8.2. ETAT DES CONNAISSANCES....144
Contexte historique du site du Saillant 146

8.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR SITE....146
Campagne de géophysique....146
Réalisation de sondages 147
Dimensionnement de la cavité....148

8.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DU SAILLANT 149
Intensité des phénomènes redoutés....150
Prédisposition aux phénomènes redoutés....150
Evaluation des aléas sur le site du Saillant 150
Risques identifiés....151

8.5. REMEDIATION ENVISAGEABLE 153
Mise en sécurité immédiate....153
Traitement de l'aléa 153
Traitement des enjeux 153

8.6. SUIVI DE SITE 153

8.7. SYNTHESE SITE 154

9. Site de la Chartroulle 155

9.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE....156

9.2. ETAT DES CONNAISSANCES....159
Contexte historique du site de Chartroulle....159

9.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR SITE....160
Campagne de microgravimétrie....161
Réalisation de sondages 161
Dimensionnement de la cavité....161

9.4. ANALYSE DE L'ALEA, SITE DE LA CHARTROULLE 164
Intensité des phénomènes redoutés....164
Prédisposition aux phénomènes redoutés....165

Evaluation des aléas sur le site de Chartroulle 165
Risques identifiés 167

9.5. REMEDIATION ENVISAGEABLE 167
Mise en sécurité immédiate 167
Traitement de l'aléa 167
Traitement des enjeux 168

9.6. SUIVI DE SITE 168

9.7. SYNTHESE DE SITE 169

10. Perspectives sur l'étude des ardoisières 170

10.1. TABLEAU DE SYNTHESE DES SITES 170

10.2. MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE SUIVI DES SITES 174

11. Conclusion 175

12. Bibliographie 177

Liste des illustrations

Figure 1 : Localisation d'Allassac au nord de Brive-la-Gaillarde. A droite : le cercle rouge situe la zone des ardoisières à Allassac. 20
Figure 2 : Effondrement d'une chambre d'exploitation, 16 janvier 2014, Commune d'Allasac ... 20
Figure 3 : Répartition des sites ardoisiers français 21
Figure 4 : Localisation d'Allassac sur un extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Tulle N°761 22
Figure 5 : Piézométrie du secteur Pissotes 24
Figure 6 : Méthode d'exploitation des filons 26
Figure 7 : Carte d'aléa réalisée en 2014, rapport BRGM RP-63463-FR 28
Figure 8 : Logigramme d'interprétation des sites d'exploitation 31
Figure 9 : Tableau d'intensité tassement/Débourrage[7] 34
Figure 10 : Tableau d'intensité chute de voutes 35
Figure 11 : Effondrement de voute et cône effondrement, janvier 2014 35
Figure 12 : Débourrage du puits B3 juillet 2014 35
Figure 13 : Tableau d'intensité Cône d'éffondrement 36
Figure 14 : Définition de la fréquence de survenance d'un évènement 36
Figure 15 : Définition de la probabilité d'occurence des aléas tassement et débourrage 37
Figure 16 : Coupe d'une chambre ancienne, carrière Bugeat 2015 38
Figure 17 : Définition de la probabilité d'occurence de l'aléa chute de voute 38

Figure 18 : Remblais composés de déchets de taille d'ardoises 39
Figure 19 : Tableau de synthèse des aléas 40
Figure 20 : Déversement gravitaire depuis la surface..... 42
Figure 21 : Mise en place d'une couche de géotextile au-dessus d'un fontis (Krempton, 1992) 44
Figure 22 : tableau de synthèse récapitulative des critères de choix des différentes méthodes de remédiation (INERIS-DRS-07-86042-02484A)..... 45
Figure 23 : Situation de la maison du Gardien en 1949..... 46
Figure 24 : Parcellaire occupé par la maison du Gardien (1BX0366 et 1BX0436)..... 47
Figure 25 : Maison du Gardien; état initial des connaissances de l'aléa (2014)..... 48
Figure 26 : Maison du Gardien; redéfinition de l'aléa en octobre 2015 48
Figure 27 : Localisation du site 1 dans une coupe E-W interprétative du gisement ardoisier d'Allassac et noms courants des filons 48
Figure 28 : Schistes altérés du filon bleu (vestiges du puits B5 et B6) Carriere Bugeat 49
Figure 29 : Schistes non altérés Filon Bleu (vestiges du puit B7 – Carrière Bugeat) 49
Figure 30 : Puits L2, absent en 1949 50
Figure 31 : Puits L2, absent en 1959 50
Figure 32 : 1963, Puits L2 en exploitation..... 50
Figure 33 : Puits L2 et son treuil en 2014 , vue de l'avenue des ardoisières..... 50
Figure 34 : Puits L2, paroi en partie affectée par un cône d'effondrement et la recherche d'un profil d'équilibre..... 51
Figure 35 : puits L1 en 1949..... 52
Figure 36 : puits L1 en 1963..... 52
Figure 37 : puits L1 en 1970..... 52
Figure 38 : puits L1 en 1985..... 52
Figure 39 : puits L1 en 1999..... 53
Figure 40 : puits L1 en 2007..... 53
Figure 41 : puits L1 en 2012..... 53
Figure 42 : Affaissement d'une partie des terrains sis au dessus de L1 en bordure de parking 54
Figure 43 : Puits B3 en 1949..... 55
Figure 44 : Puits B3 en 1963..... 55
Figure 45 : Puits B3 en 1970..... 55
Figure 46 : Puits B3 en 1985..... 55
Figure 47 : puits B3 et tunnels de sablage partiellement posés dessus 56
Figure 48 : Puits B4 en 1949..... 57
Figure 49 : Puits B4 en 1963..... 57
Figure 50 : Puits B4 en 1970..... 57
Figure 51 : Puits B4 en 2012..... 57
Figure 52 : Historique des aléas observés sur le secteur de la maison du gardien..... 58
Figure 53 : puits GRF2 et GRF1 avant l'effondrement de voute de 2014..... 58

Figure 54 : Anomalie microgravimetrique secteur maison du gardien et ex-carossier 59
Figure 55 : Localisation des sondages, zone maison du Gardien 60
Figure 56 : Géométrie de la cavité L2 61
Figure 57 : Représentation des coupes horizontales réalisées sur la cavité L2 par superposition.61
Figure 58 : Alignement des puits et filons des ardoisières (rapport BRGM 1984) 63
Figure 59 : Voute de la cavité associé au puits B7, mise au jour dans la carrière actuelle (Bugeat), Photo BRGM fev. 2014 64
Figure 60 : Désordres sur B3, en direction du nord (vers B4, août 2015)..... 64
Figure 61 : progression du cône d'effondrement en B3 65
Figure 62 : Aléas sur le jardin de la maison du gardien 68
Figure 63 : Niveau d'eau en GRF2 en mars 2014..... 70
Figure 64 : Niveau d'eau en T, octobre 2011 70
Figure 65 : Secteur sud, bâti en 1949 72
Figure 66 : 3. Site des bâtiments communaux et du minotier; état initial des connaissances de l'aléa (2014)..... 72
Figure 67 : Site des bâtiments communaux et du minotier; redéfinition de l'aléa à en octobre 2015 72
Figure 68 : localisation du site 3 sur une coupe N-S interprétative, parallèle à la linéation d'allongement du site ardoisier. 74
Figure 69 : Désordres associés au puits R..... 75
Figure 70 : Silos dits du Minotier sur le puits N 76
Figure 71 : Bardage métallique et empreinte marquant le tassement des remblais soutenant la chape de bitume 76
Figure 72 : Secteurs Hangars-Minotier 1949 77
Figure 73 : Secteurs Hangars-Minotier1959..... 77
Figure 74 : Secteurs Hangars-Minotier 1963 77
Figure 75 : Anomalie résiduelle (mGal), l'iso contour blanc marque les anomalies significatives78
Figure 76 : Implantation des sondages sur les anomalies du secteur Hangars-Minotier 79
Figure 77 : réalisation du sondage S8 à l'intérieur du bâtiment Lapeyre 79
Figure 78 : Emprise de la cavité en eau observée par sonar depuis S5..... 80
Figure 79 : Tableau d'analyse de l'aléa - Hangars et Minotier 82
Figure 80 : Cartographie des aléas de la zone Hangars - Minotiers..... 83
Figure 81 : Site de l'Avenue des Ardoisières..... 89
Figure 82 : Cartographie de l'aléa potentiel secteur de l'avenue des Ardoisières (étude 2014). 89
Figure 83 : Avenue des Ardoisières, redéfinition de l'aléa en octobre 2015..... 89
Figure 84 : coupe schématique et interprétation montrant la localisation du site 4 dans le contexte du gisement ardoisier et du bassin permien de Brive..... 90
Figure 85 : Puits proches de l'avenue des ardoisières..... 90
Figure 86 : Puits B1 en 1963 91
Figure 87 : B1 en 1970 91

Figure 88 : Puits B1 en 1985, comblé et occupé par un hangar 91
Figure 89 : B1 en 2012 91
Figure 90 : fracture dalle B1 92
Figure 91 : Plan non daté faisant apparaître les puits B1 et B2 et annotation d'un puits comblé (B1') 92
Figure 92 : Plan ancien et photo aérienne de 1949 93
Figure 93 : Vue sur emplacement B1' en 2010 (sources Street View dec 2010) 93
Figure 94 : Réalisation du sondage S4 entre B1(au fond) et B1'(premier plan) 94
Figure 95 : Hypothèse de liaison de B1 et B1'et de mouvement des remblais 94
Figure 96 : Puits ouvert en 1949 95
Figure 97 : Puits S comblé en 1963 95
Figure 98 : Puits S, hangars batis en 1965 95
Figure 99 : Anomalies sur l'avenue des ardoisières) 96
Figure 100 : Sondages de l'Avenue des Ardoisières 97
Figure 101 : Tableau d'analyse de l'aléa - Avenue des Ardoisières 99
Figure 102 : Carte des niveaux d'aléas secteur avenue des ardoisières 100
Figure 103 : Localisation de la rue des pénitents 104
Figure 104 : localisation du site de la rue des Pénitents sur une coupe N-S interprétative, parallèle à la linéation d'allongement du site ardoisier. 105
Figure 105 : Puits proches de la rue des Pénitents 106
Figure 106 : Sondages de la rue des Pénitents 109
Figure 107 : Tableau d'analyse de l'aléa – rue des pénitents 111
Figure 108 : Carte des niveaux d'aléas secteur rue des pénitents. 112
Figure 109 : Rupture de la dalle béton du batiment Rabadan (datée anté 2011 d'après témoins) 114
Figure 110 : Route du Temple, photo arienne de 1949 et BdTopo 2012 en bas, en bleu le tracé actuel, en rouge le tracé originel de 1949 116
Figure 111 : Rue du temple; état initial des connaissances de l'aléa (2014) 117
Figure 112 : Rue du temple; redéfinition de l'aléa à en octobre 2015 117
Figure 113 ; cavité reconnue par sonar en M (2014) 117
Figure 114 : Localisation du site « Route du Temple » sur une coupe E-W du gisement ardoisier. 118
Figure 115 : Emplacement du puits I sur photo aérienne de 1949 119
Figure 116 : Emplacement du puits I sur photo aérienne de 1963 119
Figure 117 : Localisation supposée du puits I 119
Figure 118 : Position supposée du puits L vue depuis la rue du temple 120
Figure 119 : Déchets présents dans la dépression du puits L (février 2014) 120
Figure 120 : Puits L en 1949 120
Figure 121 : Puits L en 1963 120
Figure 122 : Anomalie résiduelle (mGal) pour les zones ZR2. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 121

Figure 123 : Sondages réalisés sur la route du Temple 122
Figure 124 : Cartographie de l'aléa sur la route du Temple 125
Figure 125 : Analyse microgravimétrie sur la route du Temple (secteur puits M et K), en jaune une piste de déviation 126
Figure 126 : Riverains de la route des Pissotes 128
Figure 127 : Cartographie de l'aléa potentiel secteur la rue des Pissotes (étude 2014) 128
Figure 128 : Rue des Pissotes; redéfinition de l'aléa à en octobre 2015 128
Figure 129 : Localisation du site des Pissottes dans une coupe E-W du gisement ardoisier ... 129
Figure 130 : GF8 : Remblais de terres récents 130
Figure 131 : Puits GF7 130
Figure 132 : Rue des Pissotes,1949 131
Figure 133 : Rue des Pissotes,1963 131
Figure 134 : Rue des Pissotes,1970 131
Figure 135 : Rue des Pissotes,1977 131
Figure 136 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone ZR3. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives 132
Figure 137 : Localisation des sondages - Rue des Pissotes 133
Figure 138 : Coupe 1, Cavité sondage S1' , route des pissotes 134
Figure 139 : Localisation des échos sonar mesurés (en rouge) de la cavité associée à S1' ... 134
Figure 140 : Tableau d'analyse de l'aléa - Rue des Pissotes 136
Figure 141 : Cartographie des aléas de la zone de la routes des Pissotes 137
Figure 142 : En jaune des pistes de deviation de la rue des Pissotes vers l'ouest 139
Figure 143 : Pistes de deviation de la rue des Pissotes vers l'est 139
Figure 144 : Localisation du site à enjeux, D148 141
Figure 145 : Localisation des puits et tranchée (contenant un puits masqué) 142
Figure 146 : Localisation du site Saillant sur une coupe géologique E-W interprétative. 143
Figure 147 : Affleurement visible dans le puits le plus au sud (eau verte) 143
Figure 148 : Photo aérienne de 1950, emprise des puits et de la cavité investiguée 144
Figure 149 : Photo aérienne de 1963, emprise des puits et de la cavité investiguée 145
Figure 150 : Photo aérienne de 1970, emprise des puits et de la cavité investiguée 145
Figure 151 : Anomalie microgravimétrique résiduelle sur la route du Saillant 146
Figure 152 : Localisation du sondage S12 147
Figure 153 : mise en place de la sondeuse, site du Saillant 147
Figure 154 : Schéma de localisation de la cavité rencntrée à 24.3m 148
Figure 155 : Extension maximale de la cavité auscultée d'après l'interprétation du sonar 148
Figure 156 : Localisation de la cavité interprétée par rapport aux enjeux 149
Figure 157 : Carte de l'aléa sur le site du Saillant 152
Figure 158 : Schéma de localisation du site de la Chartroulle, commune d'Allassac 155
Figure 159 : Localisation des puits et tranchées 156

Figure 160 : Localisation du site de Chartroulle dans une coupe géologique E-W interprétative.156

Figure 161 : tracé approximatif des veines ardoisières du site de La Chartroulle. 157

Figure 162 : A gauche : entrée de la cavité visible sur le sentier de la Chartroulle. En haut à droite : Localisation du site sur la carte IGN. En bas à droite : photo aérienne de 1970. Le droit du toit de la cavité est bien visible, ainsi que le puits d'exploitation ouvert. La présence d'énormes tas de stériles confirme la présence d'une chambre d'exploitation. 158

Figure 163 : Schéma d'interprétation de la cavité de Chartroulle 158

Figure 164 : Vue de la cavité de Chartroulle, coté chemin 160

Figure 165 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone de la Chartroulle. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 161

Figure 166 : Superposition des coupes horizontales et verticales réalisées sur la cavité de la Chartroulle. 162

Figure 167 : Photos prises de l'exploration vidéo sur la cavité du site Chartroulle. Les flèches rouges correspondent aux images prises lors de la descente, les flèches bleues indiquent les photos, prises au toit de la cavité, des deux extrémités de la cavité En haut à gauche : vue d'en haut du puits vertical et de la paroi. En haut à droite : toit de la cavité en connexion avec le puits. En bas à gauche : limite nord-ouest de la cavité, ouverte sur l'extérieur. En bas à droite : extrémité sud-est de la cavité. 163

Figure 168 : accumulation des stériles au voisinnage immédiat des puits d'extraction 164

Figure 169 ; proposition de qualification des aléas du site Chartroulle 165

Figure 170 : Carte d'aléa, site de Chartroulle 166

Figure 171 : Tableau de synthèse des sites étudiés 173

Liste des annexes

Annexe 1 : Etude Micro gravimétrique 179
Annexe 2 : Réalisation des sondages de reconnaissance - Campagne 2014 et 2015..... 181
Annexe 3 : Campagne de mesure Laser et Sonar Cavités - Campagne 2014 et 2015..... 183

1. Gestion des risques liés aux anciennes activités ardoisières de la commune d'Allassac

1.1. CAVITES SOUTERRAINES ET EFFONDREMENTS

En quête de ressources minérales et de matériaux de construction, l'homme fouille le sous-sol depuis la nuit des temps. La localisation des anciennes exploitations a souvent été oubliée et, lors d'effondrements, certaines se révèlent brusquement. Au titre de ces cavités artificielles se trouvent également les puits, les sapes et ouvrages de guerre, les infrastructures souterraines (tunnels, caves à vin, caves à bière, ouvrages « cultuels », souterrains aqueducs, habitations…)

Les désordres de surface liés aux cavités de ces anciennes exploitations sur les sites allassacois sont multiples :

• Le tassement des matériaux de remplissage des puits

C'est une déformation souple, sans rupture et progressive de la surface du sol se traduisant par une dépression en forme de cuvette, généralement à fond plat et bords fléchis en « S ». Ce phénomène cause des désordres aux ouvrages mais ne fait pas de victimes en raison de la progressivité du phénomène. Sur les sites étudiés de la commune d'Allassac, on observe plusieurs phénomènes de tassement des matériaux qui remblaient les puits d'accès aux ardoisières souterraines.

• Le débourrage de puits.

C'est un effondrement brutal mais localisé des matériaux de remblais des puits, se manifestant sous la forme d'un entonnoir ou d'un cratère. Il est presque circulaire. Le diamètre et la profondeur du cône peuvent varier de quelques mètres à plusieurs mètres. Il fait des victimes. Ce phénomène est associé aux techniques plus ou moins contrôlées de remblaiement qui ont eu cours.

• L'effondrement de voûtes.

C'est un abaissement violent de la voûte de la cavité, pouvant se propager jusqu'à la surface. En surface, l'effondrement ainsi créé peut atteindre plusieurs hectares de surface et plusieurs mètres de profondeur. Il peut faire de nombreuses victimes et sinistrés, du fait de sa rapidité et de la superficie de la zone impactée.

Les phénomènes de débourrage de puits et d'effondrement de voûte créent en surface un « trou » qui peut ensuite évoluer, c'est-à-dire dont le diamètre peut s'agrandir par effondrement des matériaux constituant les bords, jusqu'à atteindre l'équilibre. Compte tenu de la lithologie des terrains et l'orientation de la schistosité, les parois de ces effondrements sont verticales, l'effondrement des matériaux constituant le bord du trou jusqu'à atteindre l'équilibre est un phénomène causant des désordres aux ouvrages mais qui ne fait pas de victimes en raison de la progressivité du processus.

1.2. CONTEXTE GENERAL

La commune d'Allassac se situe dans le département de la Corrèze, à une dizaine de kilomètres au Nord de Brive (Figure 1). Les ardoisières se situent à l'ouest du bourg, séparées du centre-ville par la voie ferrée.

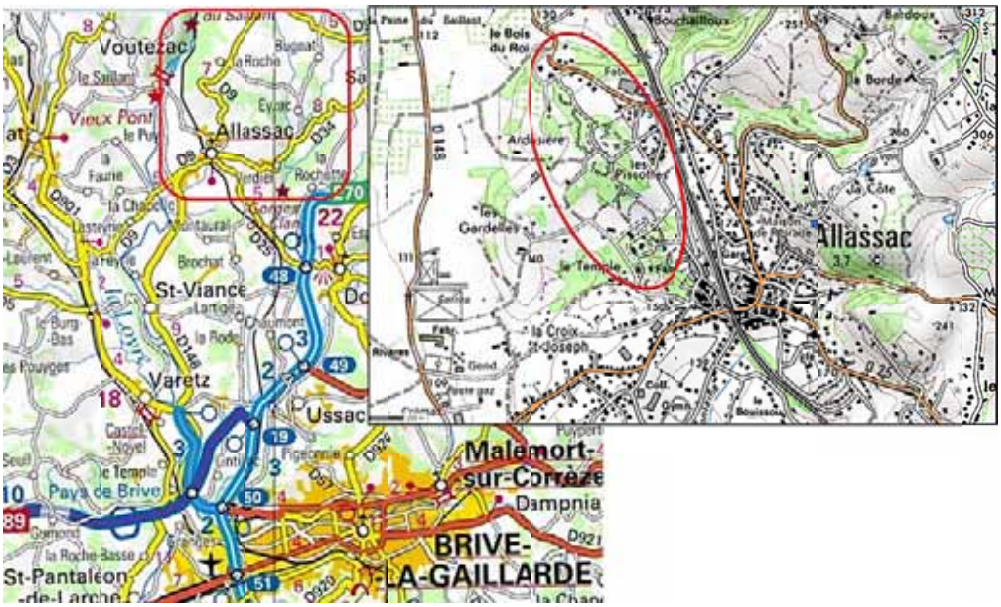


Figure 1 : Localisation d'Allassac au nord de Brive-la-Gaillarde. A droite : le cercle rouge situe la zone des ardoisières à Allassac.

Allassac, pays d'ardoises

L'exploitation ardoisière dans la commune d'Allassac (19) a été composée d'un grand nombre d'exploitations individuelles. L'accès à ces exploitations souterraines se faisait par des puits d'une dizaine de mètres de profondeur donnant accès à des chambres de plusieurs dizaines de mètres de largeur. Ces chambres ont été remblayées de façon plus ou moins complète (Rapport BRGM/RP-63195-FR)

Des phénomènes de tassement de ces remblais se sont produits et ont provoqué en surface des affaissements, en 2011, 2014 et 2015 pour les plus récents.

Jusqu'en 2010, les phénomènes s'observaient au droit des puits d'accès. Ils étaient considérés comme les plus importants désordres rencontrés sur le site des ardoisières.

En 2011 et 2014, de nouveaux effondrements mettent en exergue un nouvel aléa lié à la chute des voutes de chambres d'exploitation.

Figure 2 : Effondrement d'une chambre d'exploitation, 16 janvier 2014, Commune d'Allasac

Suite aux effondrements spectaculaires de 2011 et 2014[1], à la demande de la DREAL Limousin, une étude a été lancée pour évaluer la stabilité de ces ouvrages et réaliser une première évaluation de l'aléa qu'ils représentent sur le territoire historique de l'exploitation ardoisière de la commune d'Allassac (Secteur Pissote, Rapport BRGM RP- 63463-FR).

Durant cette première phase d'étude, des désordres importants apparaissent en janvier 2014. Ils conduiront à la mise en sécurité de deux sites (arrêté de péril imminent, évacuation des biens et des personnes) et d'une première étape d'information du risque associé au puits.

Aux termes de ces travaux, plusieurs secteurs d'aléa élevé où de potentiels enjeux présents ont été identifiés en juin 2014. Ils ont été présentés et discutés de juin à août 2014 aux acteurs locaux, Mairie d'Allassac, Préfecture de Corrèze et Sous-préfecture de Brive, DREAL et DDT19, Conseil Départemental, Communauté d'Agglomération du Bassin de Brive, RFF et gestionnaires de réseau.

Avec la découverte de nouveaux sites d'exploitation sur le territoire de la commune en août 2014 (hors du site d'exploitation des Pissotes), huit secteurs ont été retenus. En 2014, ils présentent un enjeu important, bâti ou voirie, sur l'emprise d'un aléa élevé ; ils composent donc huit zones à risques pour lesquelles une investigation complémentaire devient nécessaire au regard de la portée de la mise en place de mesures de mises en sécurité ou de la remédiation envisagée.

Ces zones ont été soumises à une campagne de microgravimétrie afin de distinguer d'éventuelles anomalies indiquant la présence de vides/de matériaux moins denses à proximité des enjeux (bâtiments, routes).

Une campagne de forages a été lancée en mai 2015 afin de confirmer les résultats de la microgravimétrie sur ces secteurs.

L'analyse détaillée des risques a été menée pour chacun des sites et des propositions de remédiation sont formulées à titre informatif. Elles forment une liste non exhaustive des moyens disponibles pour remédier aux risques évalués (déplacement de l'enjeu, suppression de l'aléa, suppression de l'enjeu), il revient aux acteurs en charges de la sécurité de ce territoire la décision de leur sélection et mise en œuvre.

Contexte géologique

L'ardoise est extraite de roches métamorphiques qui se sont formées sous des conditions de forte pression et forte température. Ces roches appartiennent à la famille des schistes. Ce qui la distingue est la qualité de son grain, très fin, et sa fissilité.

Les formations ardoisières qui furent ou sont exploitées sur le territoire national sont de natures pétrographiques variées et d'âges très divers. On trouve de l'ardoise dans les départements suivants :

Figure 3 : Répartition des sites ardoisiers français

[1] Des signes de mouvements de voutes se sont manifestés encore en 2015, associés au puits B3

N°	Département	Quelques sites
1	**Ardennes**	*Rimogne, Fumay, Haybes, Deville*
2	**Corrèze**	*Travassac (Donzenac)*
3	**Côtes d'Armor**	*Maël-Carhaix, Plévin*
4	**Finistère**	*Châteaulin, Saint-Goazec*
5	**Maine et Loire**	*Trélazé, Noyant-la-Gravoyère, La Pouëze*
6	**Mayenne**	*Renazé*
7	**Morbihan**	*Gourin*
8	**Hautes Pyrénées**	*région de Lourdes*
9	**Savoie**	*Saint-Julien-Mont-Denis*
10	**Tarn**	

Actuellement, le gisement principal en France se situe sur le territoire de la ville de Trélazé jouxtant Angers, en Maine-et-Loire. On y produit entre 15 et 20 000 tonnes d'ardoise par an au sein de deux exploitations souterraines. A Allassac, en 1989 l'exploitation des ardoisières reprend en premier lieu à Travassac puis la demande d'ardoises neuves ne cesse de croître du fait de la rareté des stocks de récupération et en 2002, la carrière d'Allassac fermée depuis 1976 ouvre à nouveau. Elle produit aujourd'hui des ardoises modèle ''Tuile d'Auvergne''.

Tous les gisements se situent dans des zones ayant subi des efforts tectoniques plus ou moins intenses qui ont contribué (tectonique souple) au développement du "clivage schisteux". Le gisement ardoisier d'Allassac se situe dans le Sud-Ouest de la région Limousin à la limite entre le socle ancien du Massif Central et les formations sédimentaires du Bassin aquitain, dans les formations épizonales en bordure de l'Anticlinal de Tulle.

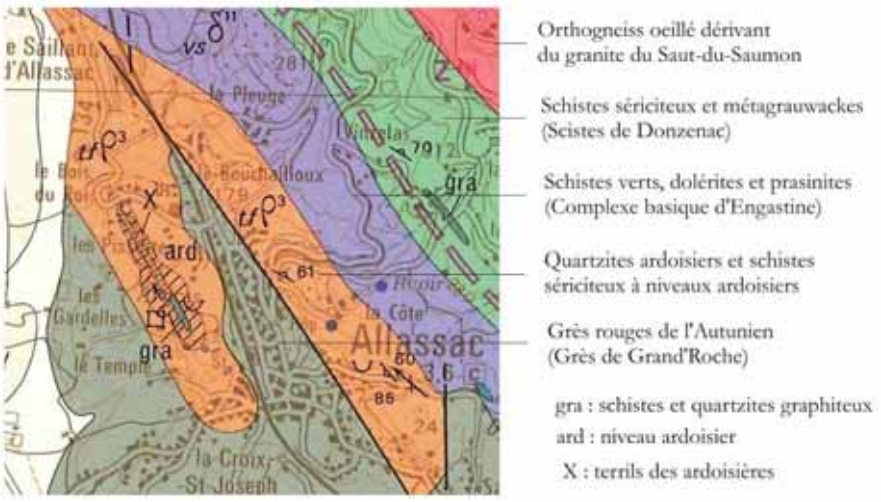


Figure 4 : Localisation d'Allassac sur un extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Tulle N°761

Le schiste ardoisier de l'exploitation appartient à un complexe volcano-détritique rhyo-dacitique constitué de quartzites feldspathiques ardoisiers noirs et schistes sériciteux. Il englobe une série de schistes et quartzites graphiteux. Ce gisement appartient à un ensemble plus vaste qui s'étend sous forme de filons orientés NW-SE de Travassac à Lascaux où des exploitations ardoisières furent connues (La Mayne, revue Lemouzi, 1998).

Selon JP. Breton *et al.*, 1984, ces roches se sont formées lors de trois grandes phases tectono-métamorphiques au Dévonien :

- une phase compressive (phase acadienne 1) à l'origine du synclinal de Donzenac dont les ardoisières forment le flanc occidental, et de la schistosité régionale (fissilité des ardoisiers, Breton *et al*, 1984)
- la phase acadienne 2 à l'origine de la crénulation « long grain » dans les ardoisières d'Allassac (fissilité des ardoisiers, Breton *et al*., 1984)
- la phase acadienne 3 à l'origine de l'antiforme de Tulle, qui donne aux structures du gisement leur orientation actuelle : NNW-SSE.

Contexte hydrogéologique

Le massif ardoisier, à grande échelle, c'est-à-dire à celle d'un site ou d'un puits, est composé de roches peu perméables. C'est l'un des critères de qualité que l'on recherche en exploitant ces matériaux pour en couvrir les habitations. A plus petite échelle, celle du secteur des Pissotes (hors Saillant et Chartroulle), ce massif est plus hétérogène et présente des altérations, des discontinuités à la faveur desquelles les eaux peuvent circuler dans le milieu souterrain. Ce massif compose donc un aquifère[2] '*en grand'*, et il soutient l'alimentation des cours d'eau, en période d'étiage, qui l'incise. En revanche ses apports au réseau de surface, en période humide, sont négligeables au regard de la fraction d'eau directement issue du ruissellement.

Les exploitations ardoisières ont toutes fait l'objet, durant leur activité, de pompage d'exhaure des eaux souterraines. Cette exhaure suffisait à maintenir hors d'eau les chambres d'exploitation et le débit de pompage n'a jamais semblé être un facteur défavorable dans l'exploitation des sites à l'exception du Saillant. Pour ce dernier, la proximité de la rivière Vézère et la présence d'alluvions au toit de la cavité laisse supposer que des venues d'eau pouvaient être importantes. Elles auraient été la cause principale de l'abandon de ce site.

Hors cette zone le modèle conceptuel des eaux souterraines en domaine de socle peut être repris. Ce modèle distingue en limousin deux niveaux :

- La partie supérieure du modèle, la plus proche du sol, la plus sensible à l'action de l'érosion, est composée de matériaux d'altération. En règle générale pour les ardoisières cet horizon altéré composait la partie non exploitée du gisement. Cet horizon est en général épais d'une dizaine de mètres sur le secteur Pissotes. Il est rendu instable par l'altération naturelle et ininterrompue des terrains et, si il est le lieu d'une exploitation, par la portée des voutes qu'il couvre.
- En dessous, le socle sain, en l'occurrence le schiste sain. Il est peu perméable et si des circulations d'eau existent, elles se font à la faveur de failles ou discontinuités (fractures) dans le massif.

Les cavités souterraines doivent donc être essentiellement alimentées en eau par la partie supérieure du gisement, au travers des terrains altérés. La cavité, pour sa majeure partie, est dans un contexte peu perméable. A l'arrêt de l'industrie ardoisière, ces cavités se sont comportées essentiellement comme des ''citernes'', stockant l'eau qui circulait au niveau de l'horizon altéré ou par venue directe par les puits d'exploitation. Cette eau a été remplacée au fur et à mesure des comblements par les matériaux de remblais et cela compose, dans la majorité des cavités remblayées rencontrées, des matériaux très saturés en eaux et fluants.

[2] Un aquifère est une formation géologique ou une roche, suffisamment poreuse et/ou fissurée (qui peut stocker de l'eau) et perméable (où l'eau circule librement)

Sur le site Pissotes, les investigations menées dans cette étude et les mesures de niveaux piézométriques faites à l'occasion de sondages de reconnaissance ou par observation directe dans des puits ouverts ont permis l'ébauche d'une carte piézométrique. Elle est présentée à la figure suivante :

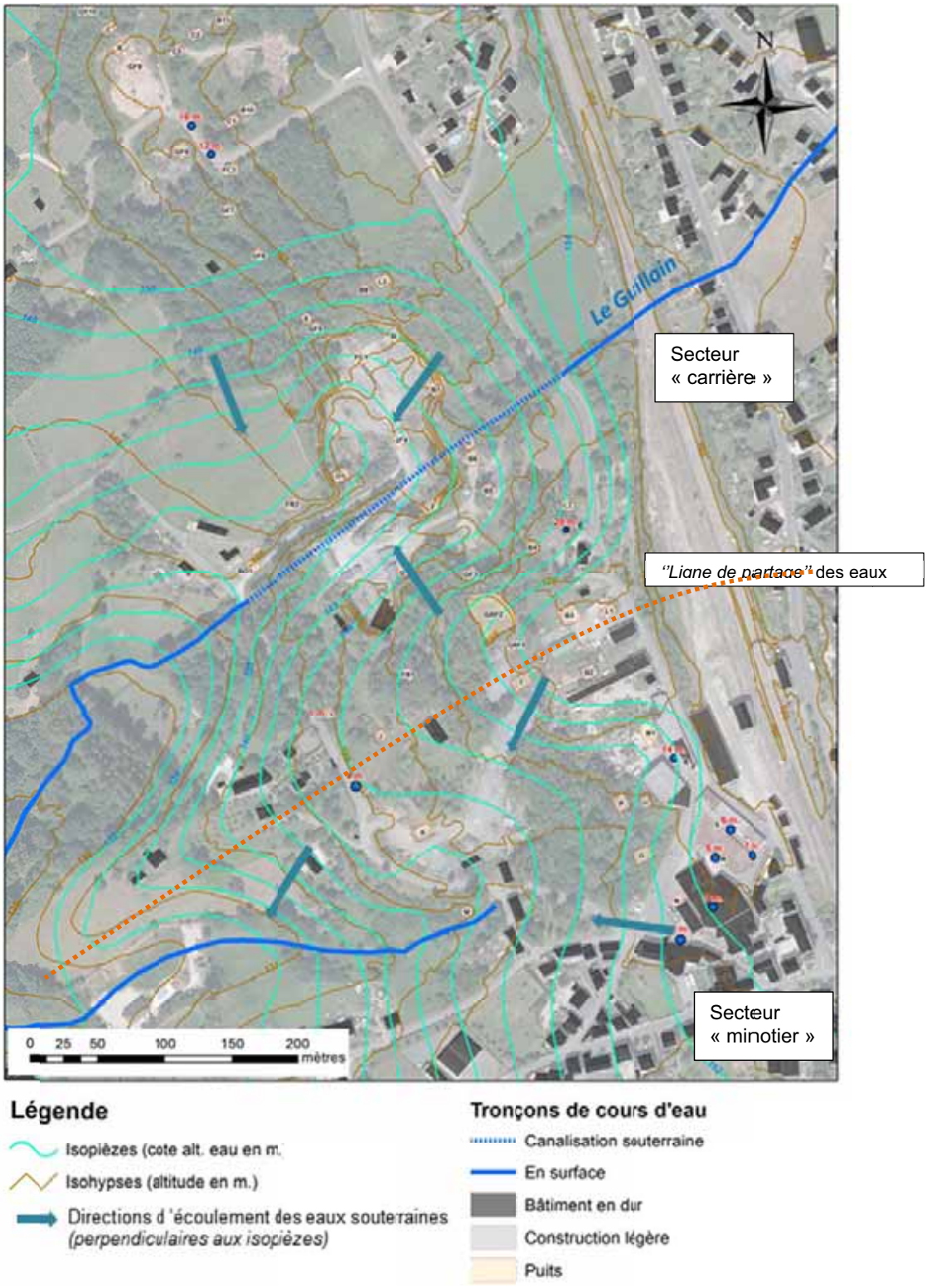


Figure 5 : Piézométrie du secteur Pissotes

La carte piézométrique représente l'état d'équilibre des pressions en eau souterraine, elle ne préjuge pas de volumes exploitables.

Elle permet de constater que le ruisseau du Guillain est l'exutoire principal de cet aquifère souterrain. Les lignes d'eau souterraines convergent vers celui-ci ou vers l'un de ces affluents au sud qui draine le secteur «minotier ».

Deux secteurs s'individualisent de part et d'autre d'une ''ligne de partage'' des eaux représentée en orange sur la Figure 5 : Piézométrie du secteur Pissotes :

- Au niveau du secteur ''carrière'', la dépression occasionnée par l'exploitation en surface des matériaux a provoqué un rabattement de la nappe souterraine. Les gradients piézométriques sont élevés (la « pente de la nappe »), ils traduisent la faible capacité du milieu à transmettre l'eau.
- Au niveau de l'affluent sud du Guillain, c'est un tronçon de cours d'eau intermittent et il présente une ''*source*'' au niveau du puits M (puits en eau). C'est un point bas du secteur qui est le lieu également d'une station de relevage des eaux usées du réseau d'assainissement urbain.

Si un suivi qualitatif des eaux souterraines devait être entrepris, la recherche d'un unique ou de plusieurs qualitomètres[3] permettant d'intercepter le maximum de venues d'eau sera conditionnée par cette analyse. En revanche, la difficulté, à l'échelle d'un point, de capter une part de l'aquifère ou tout du moins une zone de transmissivité suffisante pour permettre le prélèvement et le suivi de la qualité n'est pas levée. Une analyse plus élaborée du contexte hydrogéologique devra être menée avant l'implantation d'un ou plusieurs éventuels ouvrages de suivi.

Contexte historique

L'origine de cette exploitation ardoisière n'est pas très bien connue : Breton *et al.* (1984) parlent de grattages remontant au Moyen-Age, la revue Lemouzi (1998) parle de l'Ancien Régime. V. FOROT (1908) signale que l'ordre de Malte possédait en 1616 une "mine d'ardoise" à Allassac.

Cependant l'âge d'or de l'exploitation a connu sa plus grande activité vers la fin du 19ème siècle (400 ouvriers à Allassac). Cette activité s'accroit à la suite de l'ouverture de la voie ferrée Limoges-Brive en 1871 et la création de l'usine hydroélectrique du Saillant sur la Vézère en 1897.

Le chantier était divisé en parcelles ayant chacune un propriétaire, la pratique locale était naturellement de ne pas étendre la cavité souterraine sous la parcelle voisine pour éviter tout conflit. C'est une des données qui guide, en 2014, l'hypothèse d'extension maximale de ces cavités. L'activité a commencé à décroître dans les années 1930. Au début de la seconde guerre mondiale ne restait plus en exploitation que la Société des Ardoisières d'Allassac (Lemouzi, 1998). L'exploitation s'est arrêtée en 1977. Depuis plusieurs années, elle était réduite en carrière avec concassage du stérile abattu. Depuis cette date, une grande partie des terrains couvrant l'exploitation a été acquise par la commune d'Allassac.

[3] Point d'eau utilisé pour connaître la qualité de l'eau de la ressource, que ce soit pour une connaissance patrimoniale de la ressource ou pour une connaissance de la qualité de l'eau qui en est issue pour des usages divers dont l'eau potable, le point d'eau est alors associé à une station de mesure de la qualité des eaux souterraines.

Etat actuel des connaissances sur le site des Ardoisières

La rare documentation ancienne concernant les chambres d'exploitation a été complétée par les témoignages des habitants. Ces témoignages recoupés par les études précédentes ont complété les informations sur les aléas anciens et l'organisation souterraine des exploitations.

Les anciennes ardoisières sont situées le long de quatre filons principaux orientés NNW-SSE (Breton, 1984 ; Rapport BRGM,1997; Rapport BRGM 2014) :

- La Bleue (puits B1 à B11), avec une épaisseur de 12 m, aurait été exploité jusqu'à 100/130 m de profondeur. Sa qualité était la plus fine ;
- La Caquette (C1), avec une épaisseur de 8 m, peu exploité ;
- Le Grand Filon (GF1 à GF10), avec une épaisseur de 20 m, de qualité variable ;
- Filon Bourdu (puits BO1) (6 à 8 m).

Sont également cités le "filon" Didou (4 à 6 m), le "filon" Fronty (5 à 6 m)

Chaque puits d'extraction était au droit d'une chambre orientée suivant l'axe des filons (NW-SE). Des contradictions demeurent sur l'éventuelle communication entre chambres d'exploitation : plusieurs habitants confirment l'existence de « saignées » entre quelques puits d'exploitations différentes « où ont joué les enfants » il y a quelques années.

La méthode d'exploitation consistait à foncer un puits sur la "veine", soit en zone vierge, soit au fond d'une carrière à ciel ouvert. Après avoir laissé un stot de schiste altéré non utilisable ou de protection, on pratiquait l'ouverture de chambres rectangulaires (Figure 6) L'exploitation souterraine se développait, au fur et à mesure de l'extraction, en direction de la couche exploitable, par un réseau de galeries et de petits puits internes.

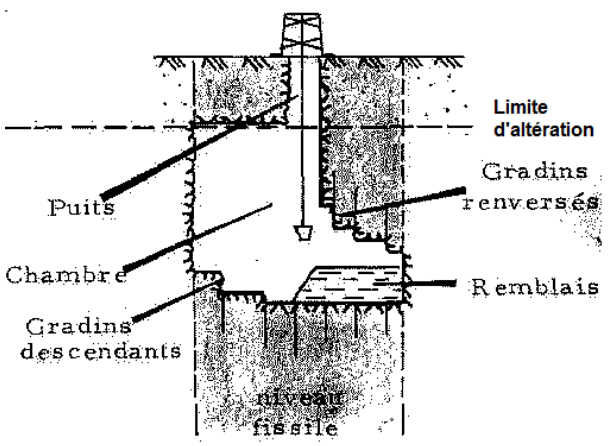


Figure 6 : Méthode d'exploitation des filons

Plus tard, dans les grandes exploitations le puits était généralement foncé en dehors de la zone exploitable, des travers-bancs reliaient alors à différents niveaux le puits principal aux collectrices qui desservent la ou les chambres d'exploitation.

L'exploitation dans les chambres pouvait se pratiquer de différentes manières selon les caractéristiques du gisement et du matériau :

a) Méthodes classiques par tranches montantes, remblayées (Figure 6, partie droite)

La méthode par tranches montantes remblayées, ou appelée aussi méthode par gradins renversés, consistait à abattre le schiste par tranches ou bancs de 2 à 6 m, en voûte de la chambre. Au fur et à mesure que l'exploitation montait on procédait au remblayage. L'évacuation des blocs de schiste abattus pouvant se faire vers la collectrice par l'intermédiaire d'un plan incliné en travers-bancs.

b) Méthodes par tranches descendantes (Figure 6, partie gauche)

> La méthode par tranches descendantes, ou méthode des fonds abaissés, a été employée dans les premières exploitations les plus anciennes. Cette méthode était identique à celle employée dans les anciens travaux à ciel ouvert, et s'effectuait en gradins descendants.

Toutefois, ces informations ne permettent pas d'avoir une idée précise sur la profondeur des cavités, leurs dimensions réelles et leur taux de remblaiement, ainsi que la géométrie exacte des remblais. Les puits d'accès aux chambres d'exploitation étant noyés ou remblayés, les cavités ne sont plus accessibles. Aucune donnée relative à l'extension des cavités souterraines (plan d'occupation, cote) n'est aujourd'hui disponible Lorsque les puits ne sont pas obstrués ou remblayés, la présence d'eau impose une observation indirecte (Rapport BRGM RP- 63463-FR).

1.3. RECONNAISSANCE DES SITES D'INVESTIGATION

Identification des zones d'aléas

L'étude menée par le BRGM en 2013-2014 (Rapport BRGM RP-63463-FR) avait identifié des zones d'aléas de mouvements de terrain faibles, moyens et forts. En cours d'étude, durant l'année 2014, deux effondrements ont entraîné des mesures de mise en sécurité des biens et des personnes.

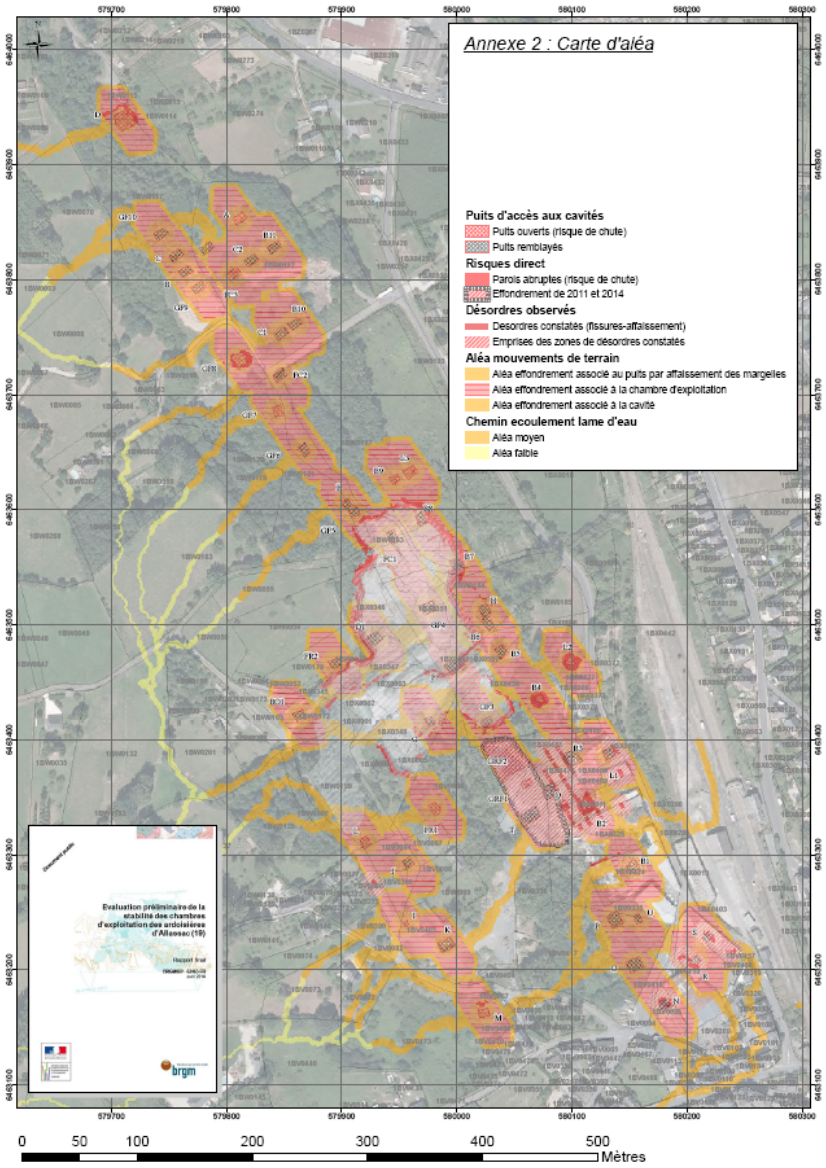


Figure 7 : Carte d'aléa réalisée en 2014, rapport BRGM RP-63463-FR

L'aléa confirmé en partie par ces mouvements de terrain et l'étude des enjeux présents a conduit à des recommandations préconisant ainsi, dans 6 zones à enjeux identifiées durant l'été 2014, de déterminer la géométrie des cavités. Courant de l'été 2014, de nouveaux sites, sur le territoire communal ont été portés à la connaissance des services de l'état. Après une analyse du contexte de chacun d'entre eux, deux nouvelles zones à enjeux ont été ajoutées à la liste des sites d'études (Saillant et Chartroulle)

Identification de la nature des aléas potentiels

3 aléas de type mouvement de terrain ont été identifiés dès 2014, résumés dans la typologie décrite à la Figure 8.

- Un aléa directement associé à la présence de puits par le tassement ou le débourrage des remblais qui le comblent. Dans le cas des puits ouverts, l'aléa d'une chute directe dans la cavité se substitue à cet aléa.
- Un aléa associé à la chambre d'exploitation souterraine qui peut s'effondrer, il dépend pour part du volume de vide disponibles et de la nature (lithologie, présence d'eau ou non) et épaisseur des matériaux subjacents qui peuvent en partie ou totalement combler la cavité
- Un aléa lié au cône d'effondrement que peut provoquer la présence d'un abrupt causé par un puits ou un effondrement de voute associée et la reprise d'un profil d'équilibre des terrains encaissants.

De ces types d'aléa, mis à part le cône d'effondrement qui se déduits des deux autres, seul l'aléa lié à la présence de puits peut être qualifié par une observation directe ou une analyse de documents anciens (photographie aérienne, plan, etc…).

La présence et la typologie des chambre d'exploitation souterraines est inconnue en 2014.

Au regard de l'extension des sites, des connaissances acquises quant aux modes d'exploitations anciens et l'extension probables des travaux souterrains, une campagne systématique de forage à un pas régulier de 15 ou 20 mètres était inenvisageable. Le choix d'une priorisation des cibles au travers d'une étude d'investigation géophysique a été retenu. (Le rapport BRGM/RP- 64915-FR présenté en annexe rend compte dans le détail de ces travaux)

Pour ce faire, la méthode d'investigation adoptée concerne l'acquisition, le traitement et l'interprétation de la microgravimétrie effectuée sur les huit zones de la commune Allassac.

Cette méthode géophysique consiste à mesurer, à la surface du sol, les variations de la pesanteur qui sont directement liées aux variations de masses existantes dans le sous-sol et en particulier à la présence de cavités souterraines, de niveaux de densité moindre tels des niveaux altérés, décomprimés ou constitués de remblais peu denses.

Elle a vocation à établir une cartographie microgravimétrique des zones à enjeux. A partir de cette cartographie vont être positionné des sondages de reconnaissance.

- ***Reconnaissance par sondage***

L'étude par la méthode géophysique de micro-gravimétrie forme donc la trame à partir de laquelle la recherche directe des cavités est menée.
Elle procède au moyen de sondage en petit diamètre (marteau fond de trou, sondages dits destructifs) pour lesquels les paramètres techniques à l'avancement (pression, vitesse de l'outil, …) sont enregistrés pour une éventuelle analyse de discontinuité dans la qualité des matériaux traversés. Si une cavité est rencontrée (observation de matériaux de remblais dans les ''cutting'', vides en eau ou en air (lecture des diagraphies instantanées[4]), le sondage est interrompu. Le sondage se poursuit en cas d'absence de vide, en eau ou en air jusqu'au mur (fond) de la cavité dans la limite de 50 mètres de profondeur. En cas de mouvement de matériaux, déstabilisation de remblais et désordres visibles engendrés en surface ou

[4] diagraphies instantanées : elles renseignent sur la présence de cavités en mesurant la vitesse de pénétration de l'outil de forage, la poussée des terrains sur cet outil, …

présence d'obstacles à l'avancement de l'outil (métaux par exemple), le sondage est interrompu.

- ***Reconnaissance des cavités***

Si le sondage réalisé permet d'atteindre une cavité souterraine sans remblais, une auscultation sonar (si elle est en eau) ou laser (si elle est hors d'eau) des cavités est ensuite effectuée. Ce type d'investigation nécessite des sondages de diamètre d'au moins 76 mm.

L'inclinaison de sondage ne doit pas excéder 4°.

Cette reconnaissance des cavités a pour objet d'en quantifier l'extension spatiale et le volume.

1.4. TYPOLOGIE DES SITES ET DES RISQUES ASSOCIES

La typologie des risques mise en place dans cette étude se fonde sur l'existant actuel des exploitations et leur évolution récente.
A priori, au terme de l'industrie ardoisière, les puits et les cavités n'ont probablement pas été remblayés.
Les remblais ont été mis en place après l'abandon des sites à partir de matériaux inertes (solution optimiste) ou ont été utilisés comme décharge publiques au départ (source mairie d'Allassac, certains puits serviront de déchèterie de la commune jusqu'en 1990). L'arrêté d'interdiction d'usage de ces cavités comme décharge publique date du 31 octobre 1995.

Le logigramme de la Figure 8 a été élaboré afin de permettre une description conceptuelle de chacun des sites et une approche normée des aléas à l'échelle du territoire communal.

En 2015, les sites sont (Figure 8) :

A - Ouverts, puits ouverts et cavité en eau ou en air

B - Masqués, présence d'un bouchon anthropique (dalle béton, déchets flottants) et cavité non reconnue,

C - Remblayés, partiellement ou complètement de déchets ou remblais plus ou compacts.

Le type A est par exemple le puits L2, décrit au chapitre 2.2

Le type B est par exemple le puits N, décrit au chapitre 3.2

Le type C est par exemple le puits B3, décrit au chapitre 2.2

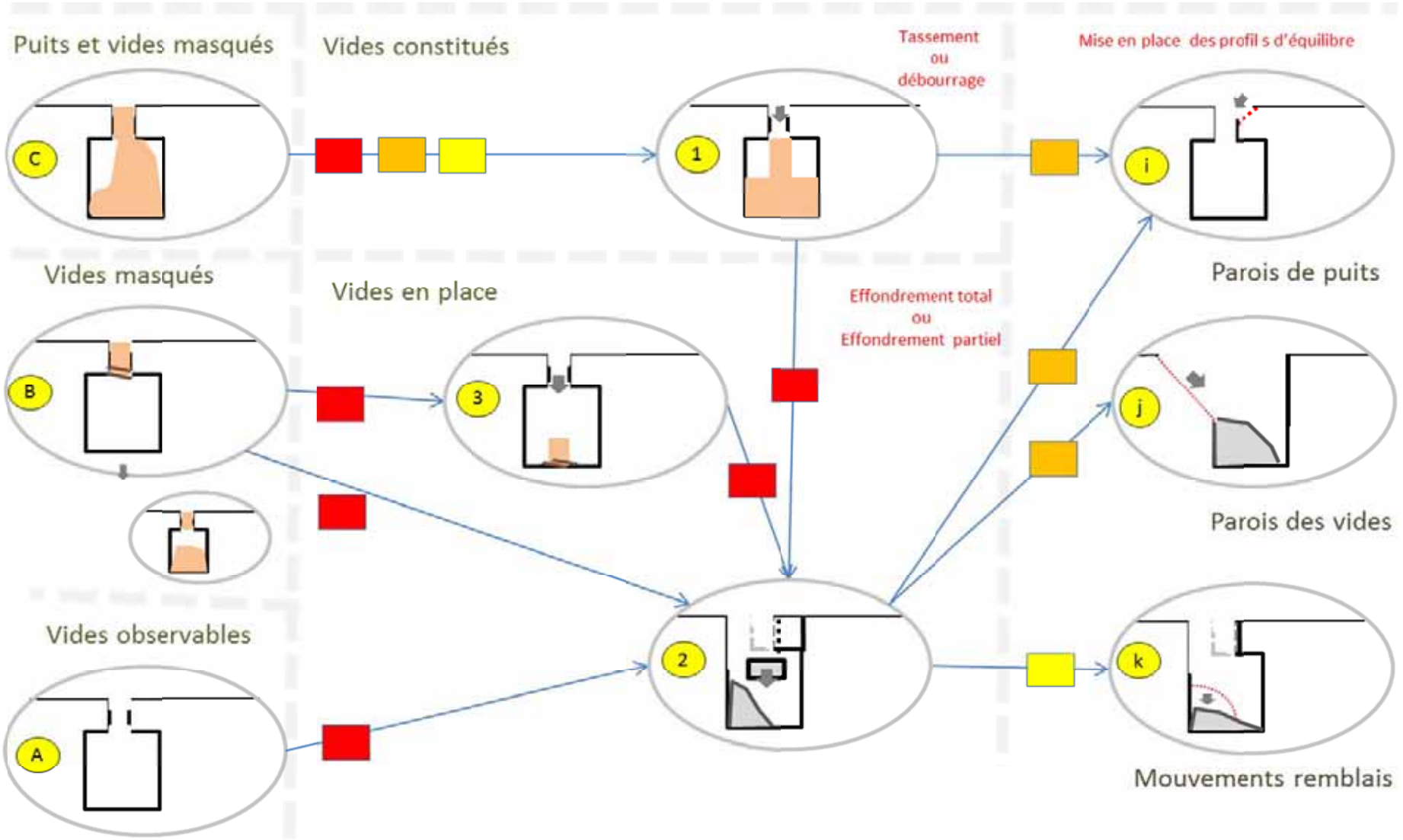


Figure 8 : Logigramme d'interprétation des sites d'exploitation

1.5. EVALUATION DU DEVENIR ACTUEL DES SITES, ALEA ET RISQUES

L'élément constitutif de l'aléa mouvement de terrain est la présence d'un vide susceptible d'entraîner des matériaux de surface.

La typologie des aléas associés aux sites ardoisiers est définie, dans l'étude des sites retenus, par la présence avérée ou supposée d'un vide (cavité d'exploitation) ou la modification de l'état des sites avec la constitution d'un vide (tassement ou débourrage) (1,2,3 Figure 8). La présence d'un abrupt (parois de puits ou paroi de cavité, découle de la présence d'un vide, Cette paroi plus ou moins verticale peut entraîner la recherche d'un profil d'équilibre, le cône d'effondrement, pour les terrains encaissants (i,j,k Figure 8)

La notion de risque va quantifier la probabilité que les mouvements 1,2 (tassement ou débourrage, effondrement total ou partiel) puissent se produire. La mise en place des profils d'équilibre sera discutée ensuite.

1.6. METHODOLOGIE DE DEFINITION DU RISQUE

Principes généraux

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa associé aux anciens sites ardoisiers est basée sur les observations de terrains, les sondages réalisés et les informations recueillies auprès des habitants rencontrés.

En termes pratiques, cette évaluation découle de trois étapes résumées ci-dessous, déclinée pour les trois aléas principaux :

- Aléa au droit du puits (tassement, débourrage).
- Alea au droit de la cavité (chute de voute).
- Cône d'effondrement et reprise des profils d'équilibre.

:

1 - Indice d'intensité (amplitude du mouvement)

Sera défini ce *qui peut être mis en mouvement*. C'est la surface des terrains et l'épaisseur, exprimée en volume. Le moteur de ce mouvement est gravitaire. Dans cette étude nous parlerons ***d'indice d'intensité d'aléa***.

2 - Fréquence ou prédisposition à l'apparition de ces mouvements

Dans le cas où le site a d'ores et déjà fait l'objet de mouvements, on peut théoriquement définir *la fréquence* avec laquelle ces déstabilisations se mettent en œuvre. On peut ainsi observer dans certains contextes, des tassements réguliers de puits alors qu'exceptionnellement un effondrement de voute se produit. Dans ce type d'étude, il s'agit *de facto* d'un facteur qui s'appuie, lorsqu'ils existent, sur de longs historiques d'observation ou le recueil du savoir local.

Si l'historique des évènements n'est pas accessible, ou trop peu renseigné, la probabilité fondée sur l'observation de terrain n'a pas de sens, alors nous évaluerons la **prédisposition à ces déstabilisations**.

3 - Définition des aléas

Reste à définir **les aléas** au sens strict. **Pour cela,** on croisera la probabilité de mouvements ou prédisposition, et l'indice d'intensité. Ainsi le niveau d'aléa va dépendre du volume mobilisé et de la prédisposition des mouvements à survenir.

Tableaux d'indices et de prédisposition

- ***Tableaux d'indices d'intensité***

Définition des tableaux d'intensité des aléas reconnus sur les sites d'extraction ardoisiers.

- **Tassement, Débourrage**

Classe d'intensité	**Hauteur de compaction**	*Illustration de ces classes par les désordres attendus ou conséquences redoutées*
Très limitée	Millimétrique	*Désordres uniquement perceptibles pour les ouvrages sensibles. « Flache[5] » de profondeur centimétrique.*
Limitée	Centimétrique	*Désordres légers de types fissures isolées sans atteintes aux fonctionnalités du bâtiment*
Modéré	Décimétrique	*Fissures visibles à l'extérieur. Les portes et fenêtres coincent et certaines canalisations se rompent. Cratère + ou - profond et suffisamment large pour ruiner une construction récente en béton même sur radier.*
Élevée	Métrique à pluri-métrique	*Désordres structurels importants. Bâtiments inhabitables. Cratère important avec parois abruptes et risque d'engloutissement du bâti. Ruine complète et immédiate de plusieurs constructions. Crevasses périphériques.*

Figure 9 : Tableau d'intensité tassement/Débourrage[7]

[5] Une flache est un type de déformation d'une chaussée qui est caractérisé par une dépression superficielle de forme arrondie. Les flaches peuvent être rencontrées sur les chaussées souples ou semi-rigides, revêtues ou non revêtues, mais pas sur les chaussées rigides comme les chaussées en béton.

- **Effondrement de voutes**

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement (surface)
Limitée	Inférieur à 3 mètres (10m²)
Moyenne	Inférieur à 10 mètres (10-78m²)
Elevée	Supérieur à 10 mètres (>78m²)
Très Élevée	Effondrement en masse

Figure 10 : Tableau d'intensité chute de voutes[6]

Le diamètre des effondrements dans le cadre de cette étude, est systématiquement associé à dimension de l'axe le plus long des cavités reconnues ou supposées. Dans le cadre de l'effondrement de janvier 2014, il s'est agi d'un effondrement en masse (plusieurs puits/cavités impliqués).

Figure 11 : Effondrement de voute et cône effondrement, janvier 2014

Figure 12 : Débourrage du puits B3 juillet 2014

[6] Tableaux adaptés d'après le guide méthodologique « plan de prévention des risques naturels, Cavités souterraines abandonnées »

- **Cône d'effondrement reprise de profil d'équilibre**

Classe d'intensité	Pente	
Très limitée	Millimétrique	Associé au Tassement/débourrage (TD) très limité
Limitée	Centimétrique	Associé au TD limité
Modéré	Décimétrique	Associé au TD modéré
Élevée	Métrique à pluri-métrique	TD Elevé et Effondrement de Voute (EV) toute intensité

Figure 13 : Tableau d'intensité Cône d'éffondrement [7]

La lithologie des formations et l'orientation de la schistosité (verticale) génère au moment de l'effondrement des parois quasi verticales, qui évoluent ensuite, à plus ou moins long terme.

- ***Tableaux de fréquence et de prédisposition***

- **Tableau de fréquence**

D'après les observations de terrains, la bibliographie réunie et les interviews des habitants, un tableau de fréquence est proposé. Il est évolutif et devrait intégrer la probable accélération des phénomènes qui peut être liée à :

- Les mouvements de grande ampleur de 2011 et 2014
- La(les) sécheresse(s) exceptionnelle(s) 2006, 2011, 2015
- La proximité des sites et le potentiel ''effet domino'' (exemple site B3)
- L'état global de vétusté et d'abandon des sites

Ce tableau de fréquence peut être, quand les informations historiques le permettent, appliqué à chacun des aléas précédents

Indice d'activité par site	Description
Faible	De l'ordre d'un mouvement tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un mouvement tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un mouvement tous les ans

Figure 14 : Définition de la fréquence de survenance d'un évènement

[7] Tableaux adaptés d'après le guide méthodologique « plan de prévention des risques naturels, Cavités souterraines abandonnées »

- **Tableaux de prédisposition**

Tassement et débourrage

Tous les puits présentent des signes de tassement. On ne retient donc qu'une seule prédisposition, très forte.

Le phénomène de débourrage ou tassement dépend :

- de la rhéologie des remblais. Par observation ils seront tous considérés de faible qualité mécanique (déchets divers, inertes ou non)
- d'un espace disponible à la remobilisation de ces matériaux.

Tous les puits remblayés ont présenté des phénomènes de débourrage au moins au début de l'observation des premiers remblayages. Chartroulle a vu la hauteur de ces remblais varier d'une dizaine de mètres. Le temps nécessaire à ces mouvements n'est pas connu. Le puits N, dit du minotier, a présenté des signes de débourrage dans les années 60 et 70. Le puits L1 a présenté des signes de débourrage dans les années 70 et 90. Le puits B3 débourre en 2015,…

Tassement	**Présence d'un puits**	**Probabilité**	**Prédisposition**
	Puits remblayé	Probabilité très forte	Prédisposition très sensible
	Puits non remblayé	Probabilité nulle	Prédisposition très faible ou nulle[8]

Débourrage	**Présence d'un puits**	**Probabilité**	**Prédisposition**
	Puits remblayé associé à une cavité remblayée ou non	Probabilité très forte	Prédisposition très sensible
	Puits remblayé non associé à une cavité[9]	Probabilité forte	Prédisposition sensible
	Puits et remblais compactés	Probabilité faible	Prédisposition peu sensible
	Puits non remblayé	Probabilité nulle	Prédisposition très faible ou nulle

Figure 15 : Définition de la probabilité d'occurence des aléas tassement et débourrage

[8] Sans investigation poussée, il est impossible de connaitre la nature des matériaux du fonds des puits qui apparaissent non remblayés à proximité de la surface. Par défaut donc tous ces fonds de puits sont supposés formés d'une partie de remblai, d'où une probabilité très faible au tassement et au débourrage de ces fonds de puits

[9] Certains puits peuvent avoir permis un accès latéral à une cavité, ils n'en sont pas le puits d'accès principal et sont de faible profondeur. D'autre semble n'avoir fait l'objet que d'un approfondissement vertical sans exploration latéral des 'filons' (cas des filons très étroits)

Chutes de voutes

La probabilité d'occurrence, soit la prédisposition à la rupture et présomption des vides, suppose une connaissance de la rhéologie des matériaux constitutifs de la voute et de l'estimation du vide de la cavité.
C'est à cet effet qu'ont été réalisé :

1. la campagne de microgravimétrie
2. les sondages de reconnaissance
3. l'investigation laser ou sonar des cavités reconnues.

Cependant il est considéré que chacun des puits présents sur le territoire d'étude est connectés à une cavité souterraine.

- Si cette cavité n'a pas été reconnue par sondage, alors la mesure d'une éventuelle anomalie gravimétrique permettra de définir son extension.
- Si aucune campagne géophysique n'a été faite sur le puits, alors l'hypothèse initiale élaborée en 2013/2014 d'une cavité non remblayée d'une hauteur décamétrique, centrée sur le puits et de longueur de 40 mètres dans l'axe du ''filon'' pour une largeur de 20 mètres, sera prise en compte par défaut.

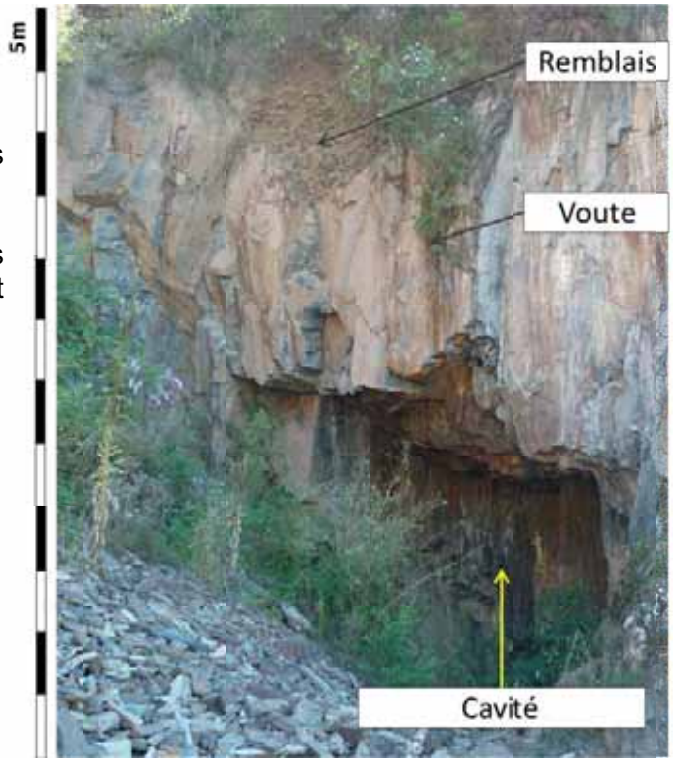


Figure 16 : Coupe d'une chambre ancienne, carrière Bugeat 2015

La rhéologie[10] des terrains formant les voutes (figure 11) peut être pour l'heure estimée d'après les observations des filons du secteur Pissotes ou celles des formations ardoisières de Travassac.

Chute de voute	Epaisseur des toits	Prédisposition
	inférieure à 15 mètres	Prédisposition très sensible
	comprise entre 15 et 25 mètres	Prédisposition sensible
	comprise entre 25 et 40 mètres	Prédisposition peu sensible
	supérieure à 40 mètres	Prédisposition très peu sensible

Figure 17 : Définition de la probabilité d'occurence de l'aléa chute de voute

[10] La rhéologie vient du grec RHEO : couler et LOGOS : étude. Littéralement, la science de l'écoulement, c'est une branche de la physique qui étudie la déformation d'un corps soumis à des contraintes.

Cône d'effondrement reprise de profil d'équilibre

La rhéologie des terrains formant les remblais susceptibles de glisser vers les cavités ouvertes est similaire à celle des stériles de l'exploitation ardoisière. Ces remblais étaient composés des feuillets d'ardoises ou débris d'ardoise.

Figure 18 : Remblais composés de déchets de taille d'ardoises

Par hypothèse nous considérons que ces glissements de terrains pour la recherche d'un profil d'équilibre sont, lorsqu'existent ces remblais, systématiques dans les mois qui suivent l'effondrement ou le tassement des puits. L'extension de ce cône d'effondrement est calculée pour une pente de 45° (100%). L'hypothèse moyenne retenue tient compte d'une chute d'au moins la hauteur des terrains formant voute. En moyenne au regard des données acquises sur l'ensemble des sites, cette hauteur est définie à 15 mètres.

La prédisposition de cet aléa dépend de la présence d'un abrupt (crée par un puits non remblayé ou le tassement/débourrage d'un puits ou un effondrement de surface lié à la chute de voute).

Ainsi, en cas de présence de cet abrupt, la prédisposition à l'aléa Cône d'effondrement, suit celle des phénomènes entrainant la création de cet abrupt.

1.7. DETERMINATION DES CLASSES D'ALEA ET ANALYSE DU RISQUE

S'il existe différentes méthodes de croisement (cotation, multicritères, etc.), il est fréquent de recourir au principe de matrice de croisement. En s'appuyant sur la définition de l'aléa ainsi que sur le principe de cette méthode des matrices de croisement, on peut, en ayant défini la classe d'intensité et la classe de probabilité d'occurrence de chaque phénomène en chaque point, définir la classe d'aléa résultant qui permet de définir le point considéré. La classe de probabilité, en l'absence de série chronologique permettant d'en établir une périodicité, est remplacée par une prédisposition[11] au phénomène.
Le principe de hiérarchisation est présenté dans le tableau suivant.

	Ou	Probabilité très faible	Probabilité faible	Probabilité forte	Probabilité très forte
		Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité		***Tassement débourrage***			
Très limitée		ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée		ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré		ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT
Élevée		ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité		***Effondrement de voutes***			
Elevé		ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT
Très Élevée		ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité		***Cône d'effondrement reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée		ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée		ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré		ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT
Élevée		ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA FORT

Figure 19 : Tableau de synthèse des aléas

Chaque site étant spécifique, le type de tableau précédemment défini va être établi et calculé pour chacun des contextes rencontrés.

[11] Plutôt que d'estimer une probabilité d'occurrence correspondant à une période de retour donnée, l'approche permettant de qualifier la classe de probabilité est menée en termes de prédisposition d'un site vis-à-vis d'un type d'instabilité.

1.8. TRAITEMENT DES SITES

A l'issue de l'étude des sites, la position des cavités (parfois seulement la présence car l'extension n'est pas accessible) est maintenant connue.
Si elle est possible techniquement, une proposition de remédiation peut être faite parmi l'éventail des techniques disponibles (Figure 22). Elle est à ce stade informative.

- les terrains peuvent devenir inconstructibles au droit des cavités ou les enjeux déplacés. L'enjeu étant retiré du site, le risque disparait.
- s'il est projeté de construire sur des terrains contenant des cavités à risques, la mise en œuvre de parades passives (fondation monolithique sur radier, ou sur pieux ou sur puits) ou de parades actives (maîtrises des eaux pluviales et usées, comblement des cavités, foudroyage des cavités, remblaiements) est possible
- en cas de constructions existantes ou d'infrastructures au droit de cavités à risques des parades passives existent (renforcement du monolithisme par chaînage, reprises-en sous-œuvre sur micro-pieux, voire sur puits) ou parades actives (comblement des cavités) sont aussi possibles.

Parmi les méthodes existantes, certaines peuvent être adaptées au contexte routier des sites étudiés comme les techniques de protection passives par comblement ou actives avec la mise en place d'un pont au-dessus de la cavité (§0 et 0).

Certaines peuvent être adaptées au bâti. Ce sont plus généralement des méthodes de traitement par suppression des vides et consistent, soit à décaisser, soit à supprimer les vides souterrains par abattage (mécanisé ou par explosif) des terrains de couverture.

Franchissement par pontage des zones à risques

Le franchissement des zones à risque revient à mettre en place un pont au-dessus du vide existant dans le sous-sol en s'appuyant sur les épontes de ces cavités. Il s'agira alors d'étudier la résistance de ces épontes latérales pour envisager la faisabilité et le dimensionnement de ce pontage. Cette méthode ne peut être envisagée que pour une voie de communication, elle n'apporte aucune remédiation aux terrains ou bâtis voisins potentiellement affectés par la cavité.

Remplissage du vide (ou comblement)

Cette méthode représente une des solutions de traitement définitives (pérennes à long terme) de la cavité souterraine. Elle repose sur des principes qui varient entre deux pôles :

- *le remplissage :* réduction du plus grand volume vide possible par un simple comblement ;
- *la consolidation :* remplissage total des vides avec restitution de la compacité « initiale » du terrain ou tout du moins d'une certaine compacité (par injections de mortiers et de coulis).

L'objectif recherché doit être la limitation des mouvements de terrain en surface (affaissement, tassement) à des amplitudes « admissibles ». Etant donné l'absence de zones destinées à la construction sur la zone d'étude, l'interdiction de tout mouvement perceptible en surface n'est

pas un objectif impératif. Le risque sur le bâti existant est associé aux aléas liés à l'effondrement de voûtes et au cône d'effondrement.

Pour parvenir à une remédiation de la sorte, les conditions suivantes sont requises :

- Confirmation de la nécessité d'éliminer définitivement (efficacité et pérennité) tout risque susceptible de provoquer des dommages sur les enjeux routiers et la parcelle bâtie ;
- Une solution par confortement des ouvrages souterrains pour des raisons pratiques (accessibilité), sécuritaires ou économiques n'est pas envisageable;
- Le site ne peut être abandonné en l'état;
- La possibilité d'un financement des opérations de traitement est envisageable.

En termes techniques, la cavité n'étant pas accessible à la circulation d'engins de terrassement, un remblaiement par déversement gravitaire depuis la surface peut constituer une méthode de remédiation. Diverses méthodes de remblaiement gravitaire, mises en oeuvre depuis la surface, permettent grâce à leur diversité de trouver, dans la plupart des cas, une solution adaptée aux prescriptions de comblement. On pourra avoir recours, si nécessaire, à des injections de clavage complémentaires.

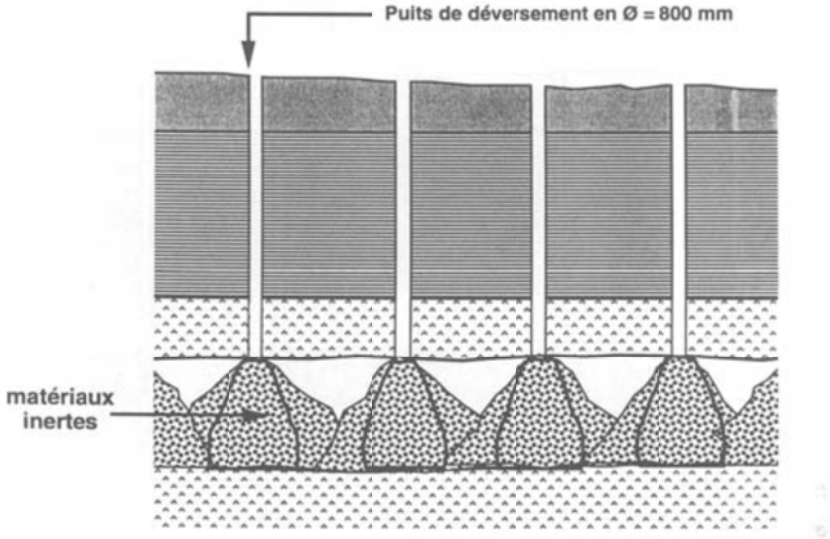


Figure 20 : Déversement gravitaire depuis la surface

Le remblaiement par déversement gravitaire a pour objectif de réduire au maximum le volume des vides souterrains pour garantir des conditions de stabilité du sol à long terme déterminées par la destination du site (enjeux). Dans des conditions d'opérabilité favorables, ce mode de traitement, allié à des injections de clavage, peut convenir à une mise en sécurité maximale du site (tassements différés nuls ou négligeables pour la route existante, suppression des aléas effondrement de voute et cône d'effondrement sur le bâti).

Le principe est de déverser le plus simplement possible (gravitairement ou sous faible pression) des matériaux granulés criblés à partir de forages ou «puits de déversement» dont le diamètre est imposé par la technique de mise en place. Les études géotechniques préliminaires à ces travaux tiendront compte de la présence d'eau dans la cavité et de son rejet après le remplacement par des matériaux inertes pour l'environnement et la qualité des eaux souterraines potentiellement impactées.

Pour mettre en œuvre ce type de remédiation, indépendamment des études géotechniques préliminaires, une analyse de faisabilité technique est nécessaire pour estimer l'ampleur des travaux et définir la nature des traitements les plus appropriés au contexte. Cette analyse est réalisée à partir de travaux de reconnaissance déjà réalisés ou complémentaires qui concernent plus particulièrement :

- la reconnaissance des limites des ouvrages souterrains (campagnes laser et sonar) ;
- la vérification de leur état de conservation (seulement hors eau);
- l'estimation du volume des vides (campagne laser ou sonar);
- la présence de terrains décomprimés et les reports de charges en conséquence (paramètres à l'avancée des sondages de reconnaissance).

Cela reste conditionné, notamment pour la vérification de l'état de conservation des cavités, par l'accessibilité des sites et hors Chartroulle, toutes les cavités souterraines ne sont pas directement accessibles.

Remédiation par des méthodes dites « PARACHUTES »

Différentes techniques de protection passive sont désignées sous le terme de méthodes ''parachutes''[12] :

- dans des zones où ne circulent que des piétons (espaces verts, chemins,...), il s'agit de la pose, sous la couche de terre végétale, d'un treillis galvanisé à larges mailles, qui sert de filet pour retenir les personnes en cas d'éboulement ;

- sous les chaussées ou les réseaux, il s'agit de l'utilisation de *géosynthétiques* (membrane composite ou polyester) disposé et ancré sous la structure. Leur bonne résistance à la traction leur permet d'enjamber certaines zones décomprimées et de réduire les déformations à la surface. Plusieurs sites équipés de la sorte ont démontré l'efficacité de cette solution pour le remblai d'une route construite sur une zone de fontis (Kempton, 1992).

- Une autre technique est celle du géosynthétique pré-tendu (type HUESKER). La pré-tension permet d'anticiper 1% de l'allongement de la géogrille, immobilisée par remblayage, et aussi de supprimer les plis habituels à la pose (label du Comité IVOR,2003).

L'objectif est de prévenir le risque d'apparition en surface d'un vide brutal, en limitant sa propagation sous le « parachute ». En surface, la déformation sera modérée. Cette technique est facile dans sa mise en œuvre et relativement peu onéreuse par rapport au coût de déviation de la route par exemple. Elle évite les ruptures brutales du sol mais pas les déformations consécutives à des effondrements. Elle permet une mise en sécurité des personnes mais n'a pas pour objectif de protéger le bâti.

Le dimensionnement du géotextile doit garantir la stabilité de l'espace protégé, même après formation du fontis ou de la cuvette d'affaissement. La figure suivante présente la forme et les paramètres pris en compte pour le calcul et le dimensionnement du géotextile. La distance D

[12] Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique Surveillance – Traitement (http : //www.ineris.fr/) **INERIS**-DRS-07-86042-02484A

correspond à la portée du géotextile qui supporte le poids d'une partie du talus où le fontis aurait lieu.

En termes de performance, pour des routes principales, la déformation admissible du sol ne doit pas dépasser 1%. Pour des routes moins importantes, cette déformation admissible peut atteindre 2%.
Ces méthodes sont utilisées lorsque des vides sont soupçonnés voire même identifiés à condition que des désordres prévisibles demeurent de dimensions limités (fontis d'ordre métrique).

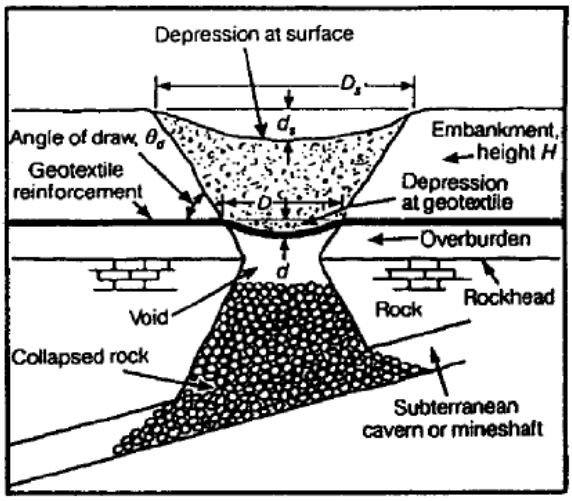


Figure 21 : Mise en place d'une couche de géotextile au-dessus d'un fontis (Krempton, 1992)

1.9. SUIVI DE SITE

Le suivi des sites à enjeux les plus sensibles sera proposé en attente de leur remédiation ou du déplacement des enjeux potentiellement impactés

CRITERES	METHODES DE TRAITEMENT	Inspection visuelle	Surveillance instrumentée	Consolidation des cavités	Remblayage direct par le fond	Remblayage partiel	Remblayage voie sêche ou semi-humide	Remblayage hydraulique	Injections de mortiers ou coulis	Terrassement comblement	Foudroyage par le fond	Pilonnage intensif
Exigence de conservation des cavités	Oui											
	Aucune											
Accessibilité	Oui											
	Non											
Superficie de la zone à traiter	< 3 ha											
	> 3 ha											
Volume ou dimensions des cavités	Faible											
	Importante											
Profondeur	< 15 m											
	15-40 m											
	40-80 m											
	> 80 m											
Type de site et environnement	Urbain											
	Naturel											
Adaptation au niveau de prévention exigé pour des sites donnés	Naturel											
	Urbanisé											
	Urbanisation											
Hygiène et sécurité du personnel												
Nuisances sur l'environnement												
Coûts indicatifs en Euros par m3	10-20											
	20-40											
	40-75											
	75-150											
	150-300											

Bonne adaptation de la méthode au domaine

Adaptation avec précautions ou travaux complémentaires (Ex : injections de clavage ou des terrains décomprimés, renforcement du bâti, etc.)

Inadaptation de la méthode au critère

Sans objet

Figure 22 : tableau de synthèse récapitulative des critères de choix des différentes méthodes de remédiation (INERIS-DRS-07-86042-02484A)

2. Site de la maison du Gardien

Le site de la maison du gardien a été retenu dans cette étude et il compose le seul enjeu, identifié en juin 2014, de type habitation situé sur le secteur des anciennes ardoisières.

Lors de l'étude initiale, la proximité d'un aléa élevé a été mise en exergue. La présente étude a en partie vocation à confirmer ou infirmer l'absence de risque sur cette parcelle bâtie.

La maison du Gardien existe depuis le début de l'exploitation du site. Présente sur les photos aériennes de 1949 (Figure 23) elle est mentionnée dans les plans les plus anciens.

Figure 23 : Situation de la maison du Gardien en 1949

Elle est à l'est de la zone étudiée, en bordure des puits d'exploitation. D'après les témoins de la fin de l'époque d'exploitation de ces puits, aucune cavité n'aurait été exploitée sous ce bâti.

En 2012, elle occupe la parcelle cadastrale n : 1BX366 mais, par l'usage du jardin associé à la maison, elle occupe également une part importante de la parcelle 1BX436

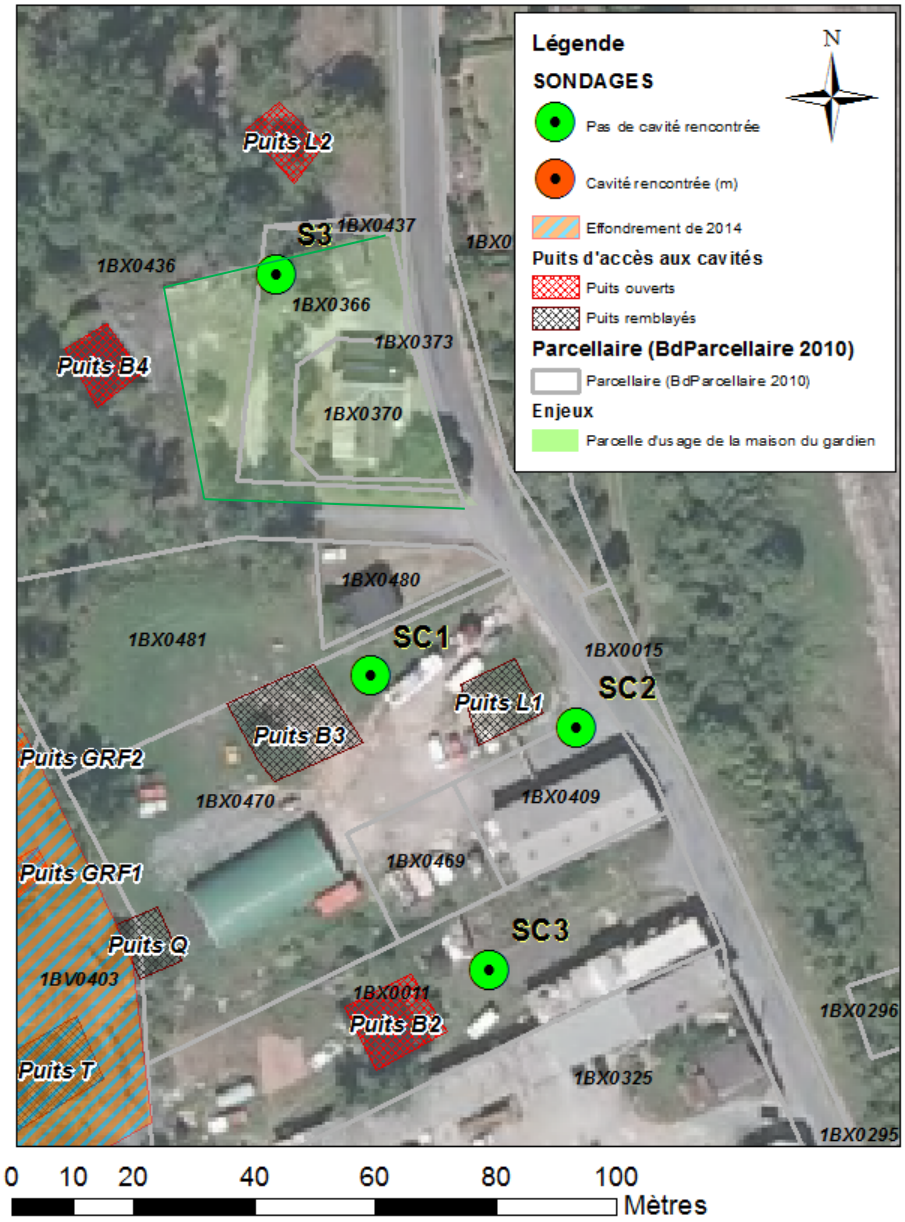


Figure 24 : Parcellaire occupé par la maison du Gardien (1BX0366 et 1BX0436)

En 2014, la première étude menée qualifie la parcelle 1BX0366 et le risque qui lui est associé. La partie située hors de cette parcelle et à proximité du puits B4 (puits en eau) est, *de facto*, soumise à un risque élevé. Ce risque est lié à l'effondrement potentiel des parois du puits. Il est également lié à la mise en place d'un cône de profil d'équilibre que prendraient les terrains à la suite de leur glissement vers la cavité ouverte. La proximité des puits B4, B3, L2 et L1, justifie qu'une étude complémentaire soit faite pour écarter ou non le risque lié à l'effondrement de voute pour ce site.

Figure 25 : Maison du Gardien; état initial des connaissances de l'aléa (2014)

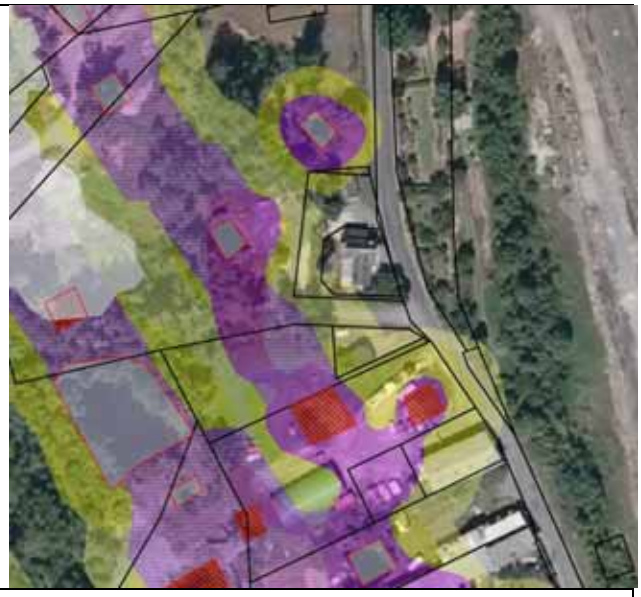


Figure 26 : Maison du Gardien; redéfinition de l'aléa en octobre 2015

2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le site de la maison du gardien est situé en bordure de l'Avenue des Ardoisières, sur la limite Est du gisement ardoisier (Figure 1).

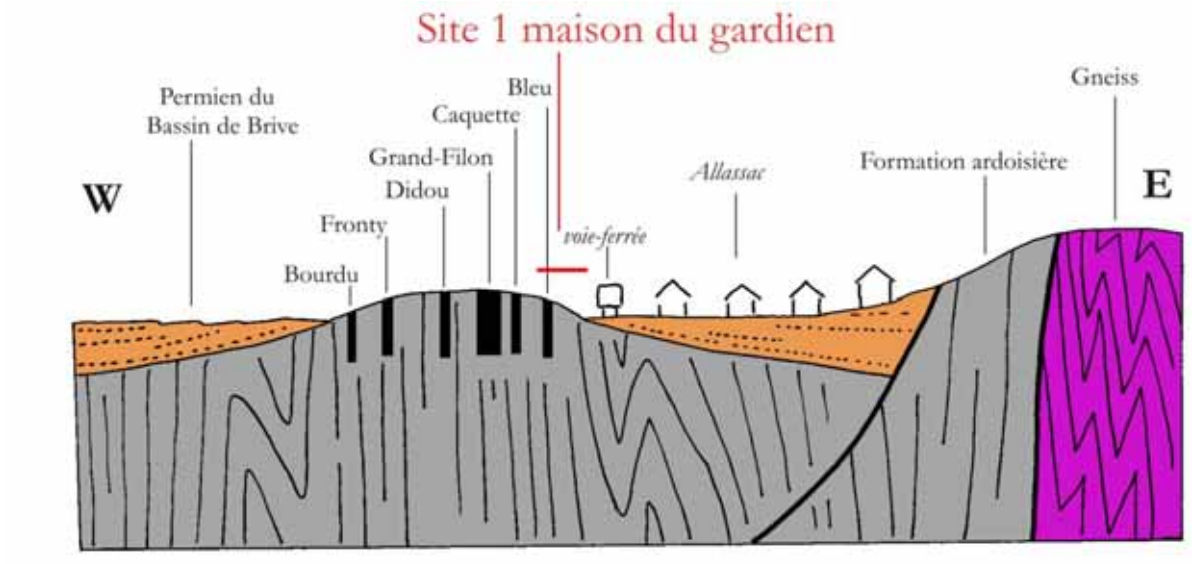


Figure 27 : Localisation du site 1 dans une coupe E-W interprétative du gisement ardoisier d'Allassac et noms courants des filons .

Les puits concernés par ce secteur sont les puits B3 et B4, L1 et L2. Les puits B3 et B4 sont situés sur le filon ardoisier Bleu, reconnu sur une grande partie du gisement. Les puits L1 et L2

ne sont pas localisé sur un filon connu à l'échelle du gisement. L2 a pu exploiter un filon de petite extension. L1, peut être associé au puits B3 et à la cavité exploitée, il est également possible qu'il ait exploité un filon isolé par des mouvements tectoniques de type faille ou pli.

Ce site a été reconnu par les sondages S3 (2015), SC1, SC2 et SC3 (en 2014)

Le sondage S3 débute par 9 mètres de schistes altérés, marron rougeâtres. Ce type de faciès peut être illustré par l'observation faite des formations associées au Filon Bleu dans la carrière actuellement en activité sur le secteur (Figure 28 et Figure 59) .

Figure 28 : Schistes altérés du filon bleu (vestiges du puits B5 et B6) Carriere Bugeat

Il se poursuit par des schistes compacts noirs jusqu'à 50 mètres de profondeur. Il ne recoupe aucune structure tectonique importante qui aurait pu en ce point, fragiliser l'encaissant schisteux des exploitations.

Figure 29 : Schistes non altérés Filon Bleu (vestiges du puit B7 – Carrière Bugeat)

2.2. ETAT DES CONNAISSANCES

Le secteur de la maison du Gardien contient dans un rayon de 100 mètres les mouvements de terrains les plus importants qui aient été observés sur le secteur des ardoisières. En revanche, il n'y a pas été observé de désordres sur la maison ou sa parcelle cadastrée.

Puits L2

Le puits L2 est à 28 mètres de la maison. Exploité **après** la construction du bâtiment, il est absent des photos de 1949 (Figure 30 et Figure 31) et n'apparait qu'en 1963. Il est actuellement conservé dans un état proche de celui qu'il devait avoir lors de l'arrêt de l'exploitation.

Figure 30 : Puits L2, absent en 1949

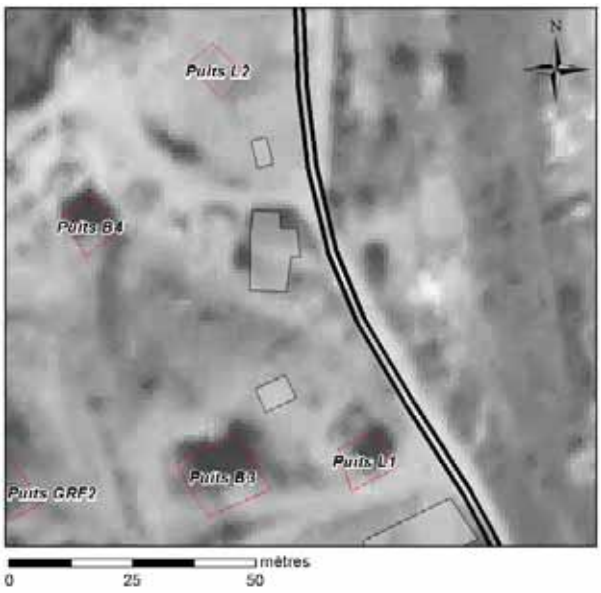


Figure 31 : Puits L2, absent en 1959

Figure 32 : 1963, Puits L2 en exploitation

Figure 33 : Puits L2 et son treuil en 2014 , vue de l'avenue des ardoisières

Le puits L2 ne présente pas de désordres historiques remarquables. En revanche la morphologie de ses parois à proximité de la surface des terrains naturels laisse supposer qu'une partie des remblais, qui ceinturent le puits, glissent vers la cavité.

Un cône d'effondrement semble se mettre en place tout autour de cet ouvrage à l'exception du côté disposant encore de la grue et du treuil d'extraction (Figure 34).

Figure 34 : Puits L2, paroi en partie affectée par un cône d'effondrement et la recherche d'un profil d'équilibre.

Puits L1

Situé à 33 mètres de la maison, les photos aériennes de 1949 le montre ouvert. En 1970, il semble partiellement comblé ou en eau. De 1977 à 1999, il est ouvert ou partiellement comblé et probablement en eau. A partir des photos aériennes de 2007, il apparait comblé mais son empreinte en surface reste visible sur toutes les photos suivantes (signes de tassements réguliers des remblais de comblement).

Figure 35 : puits L1 en 1949

Figure 36 : puits L1 en 1963

Figure 37 : puits L1 en 1970

Figure 38 : puits L1 en 1985

Figure 39 : puits L1 en 1999

Figure 40 : puits L1 en 2007

Figure 41 : puits L1 en 2012

En 1980, le puits L1 subit un débourrage important, en emportant un camion. Le camion a pu être récupéré à l'aide d'une grue (Source : habitant d'Allassac).

Le puits L1 présente des signes de tassement continus, observés sur une période récente (2012-2014).

Figure 42 : Affaissement d'une partie des terrains sis au dessus de L1 en bordure de parking

Puits B3

- Les photos aériennes de 1949 montre ce puits ouvert et probablement en eau. Il semble comblé au début des années 1980 (Figure 43 à Figure 46).
- En 2012, le puits B3 est comblé et ne semble avoir subi aucun désordre (Figure 47).
- Ce puits est le plus proche des mouvements de terrains observés en janvier 2014. Il subira en juillet 2015 un débourrage important.
- En fin octobre 2015, la voute en relation avec ce puits présente des signes d'effondrement en direction du puits B4.
-

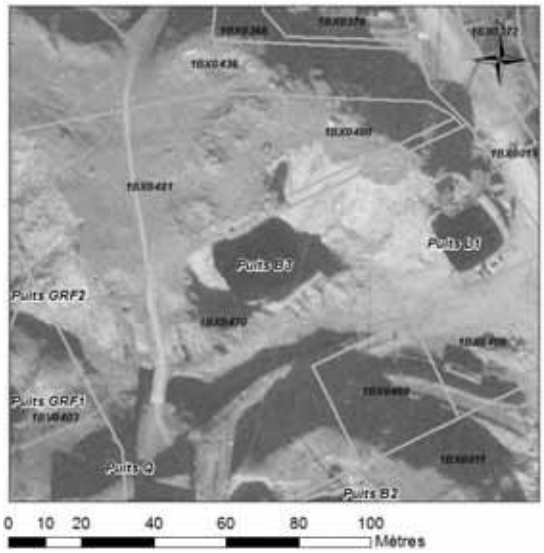


Figure 43 : Puits B3 en 1949

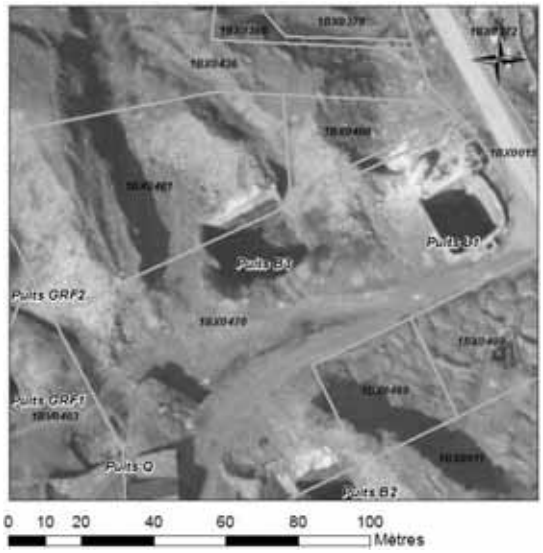


Figure 44 : Puits B3 en 1963

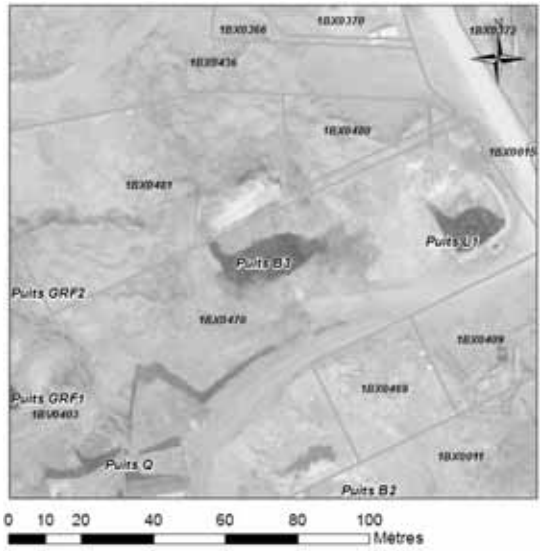


Figure 45 : Puits B3 en 1970

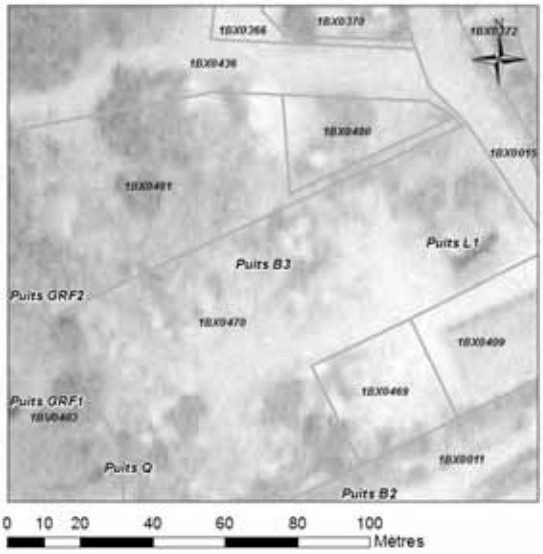


Figure 46 : Puits B3 en 1985

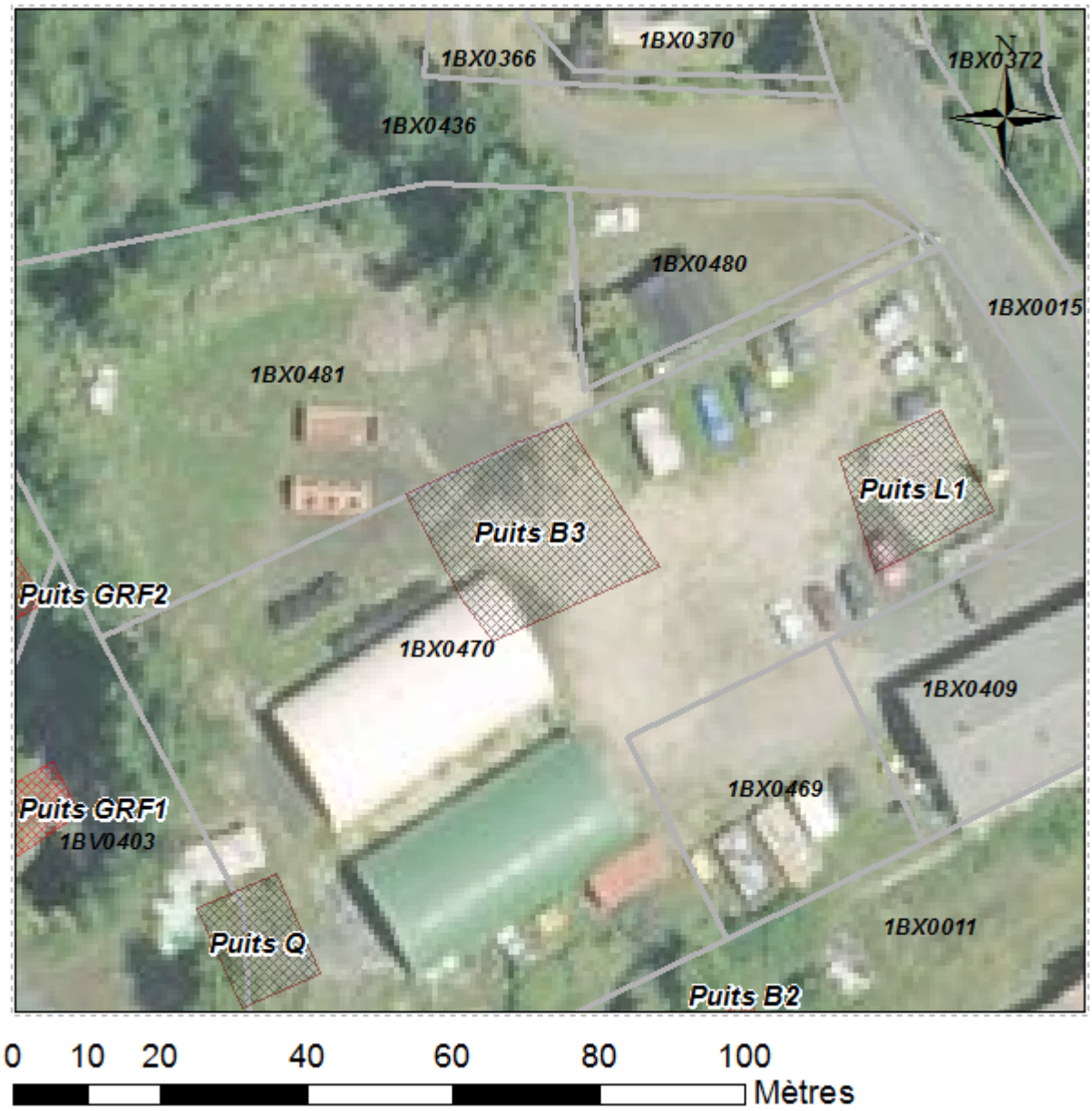


Figure 47 : puits B3 et tunnels de sablage partiellement posés dessus

Puits B4

Le puits B4 est difficilement observable sur le terrain. Les outils de son exploitation (treuils) semblent être retirés en 1963 et il n'est jamais apparu comblé. Le puits B4 présente une configuration similaire à B3 (il s'agit du filon Bleu) et à L2 (c'est un puits ouvert en eau) et donc les mêmes aléas.

Figure 48 : Puits B4 en 1949

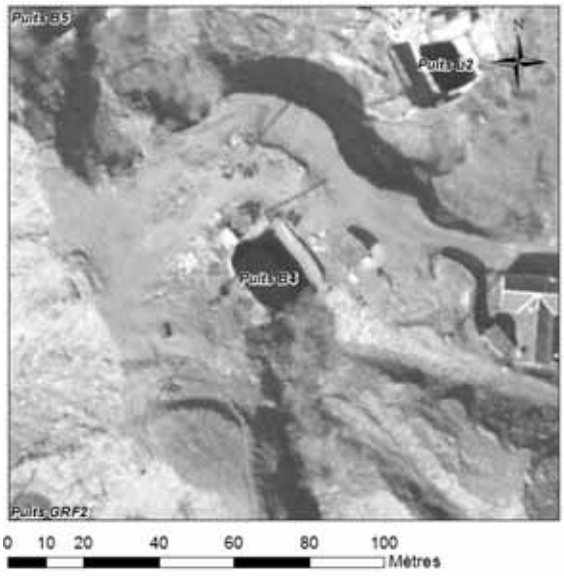


Figure 49 : Puits B4 en 1963

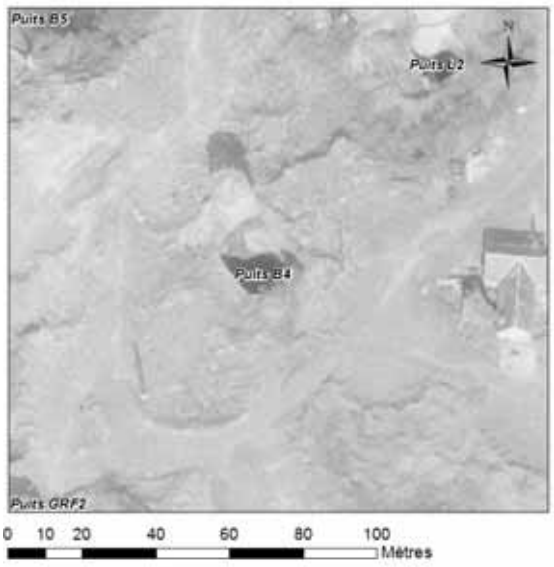


Figure 50 : Puits B4 en 1970

Figure 51 : Puits B4 en 2012

Il a été mis en sécurité par une clôture qui en empêche l'accès à l'identique du puits L2.

Contexte historique

Août 2015	B3 : Déstabilisation des parois maçonnées + Propagation des désordres en surface dans l'axe du filon (affaissement superficiel) L1 : Tassement continu depuis au moins 2012.
Juillet 2014	B3 : Débourrage brutal du puits sur une dizaine de mètres. Volume d'environ 1000 m^3. Apparition du mur maçonné.
Janvier 2014	GRF1 : Effondrement du toit de la chambre située sous le puits. Emprise au sol de 1200 m², volume d'environ 12000 m^3 . (Figure 53) Evolution en blocs basculés des abords de l'effondrement. Effet piston créé par l'effondrement : vague de 5 m à la sortie du GRF2. B3 : Apparition de fissures sur les bâtiments. Mise en sécurité de la parcelle dite du carrossier. (Rapport BRGM/RP-63370-FR)
Août 2011	T : Effondrement du toit de la chambre située sous le puits GRF1. Surface de 1000 m² affectée. Evolution en blocs basculés des abords de l'effondrement. Effet piston créé par l'effondrement : vague de 5 m à la sortie du GRF2. Apparition de fissures sur les bâtiments. Rapport BRGM/RP-60368-FR
Années 1980	L1 : Débourrage du puits, emportant un camion. Le camion a pu être récupéré à l'aide d'une grue [Sources : habitant d'Allassac].

Figure 52 : Historique des aléas observés sur le secteur de la maison du gardien

Figure 53 : puits GRF2 et GRF1 avant l'effondrement de voute de 2014

2.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE

Campagne de microgravimétrie

Une étude micro gravimétrique a été réalisée afin d'identifier un aléa éventuel lié aux puits B4, B3, L2 et L1 qui entourent la maison. La figure ci-dessous (Figure 54) représente le résultat de cette étude géophysique.

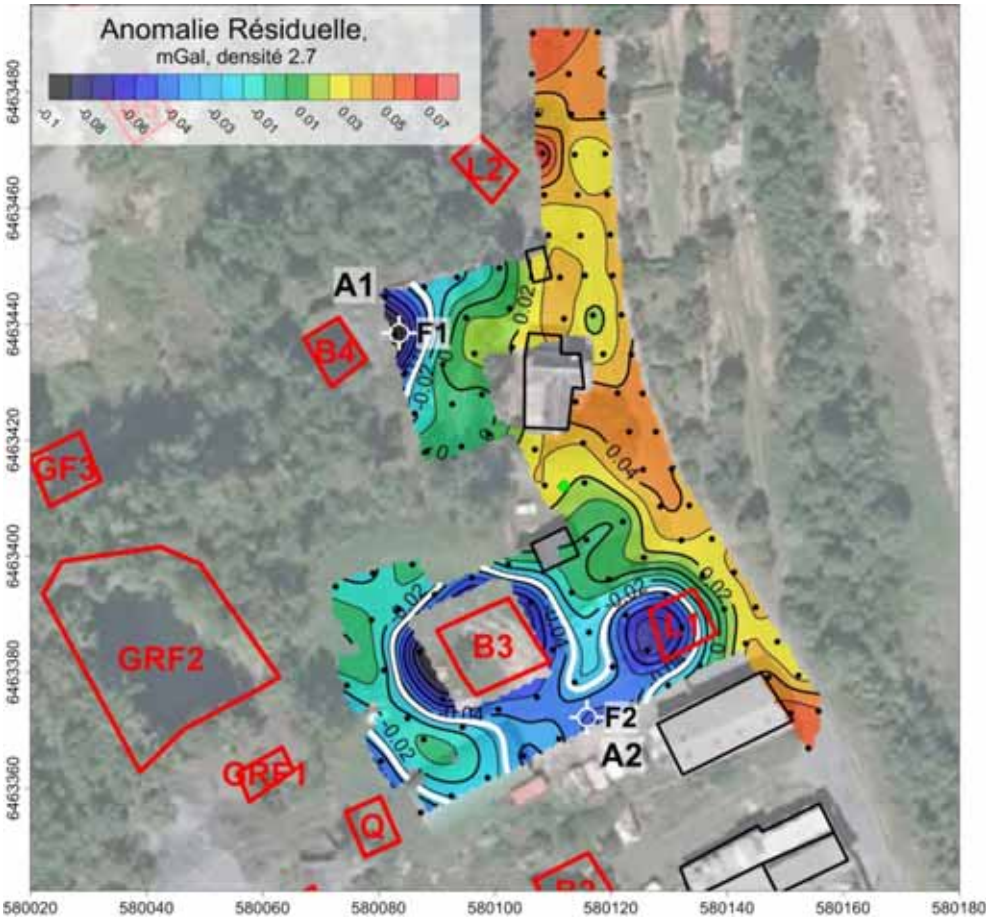


Figure 54 : Anomalie microgravimetrique secteur maison du gardien et ex-carossier

L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. L'anomalie A1 est possiblement à relier au puits B4, alors que l'anomalie A2, bilobée, est à mettre en relation avec les puits B3 et L1 (Figure 54). L'anomalie A1 atteint -0.1 mGal, et l'anomalie A2 -0.09 mGal proche du puits B3.

Le puits L1 n'est pas centré sur le lobe de l'anomalie A2 en son droit, il est plausible que l'emprise de L1 tel que reporté sur la Figure 54 soit un peu décalé, dû au géoréférencement incertain des photographies historiques utilisées pour positionner les têtes de puits.

Les puits B4 et L2 étant ouverts, il n'a pas été possible d'étendre l'investigation plus au nord.

Réalisation de sondages

Afin de confirmer ou infirmer les données de cette campagne de microgravimétrie, un sondage a été réalisé en 2015 à la limite nord de la parcelle cadastrale (S3), dans l'emprise de l'anomalie négative (bleue sur la Figure 55). Aucune cavité n'a été recoupée sur 50 m (le log est présenté en annexe). Les sondages SC1, SC2 et SC3 menés en 2014 n'ont pas recoupé de cavité également.

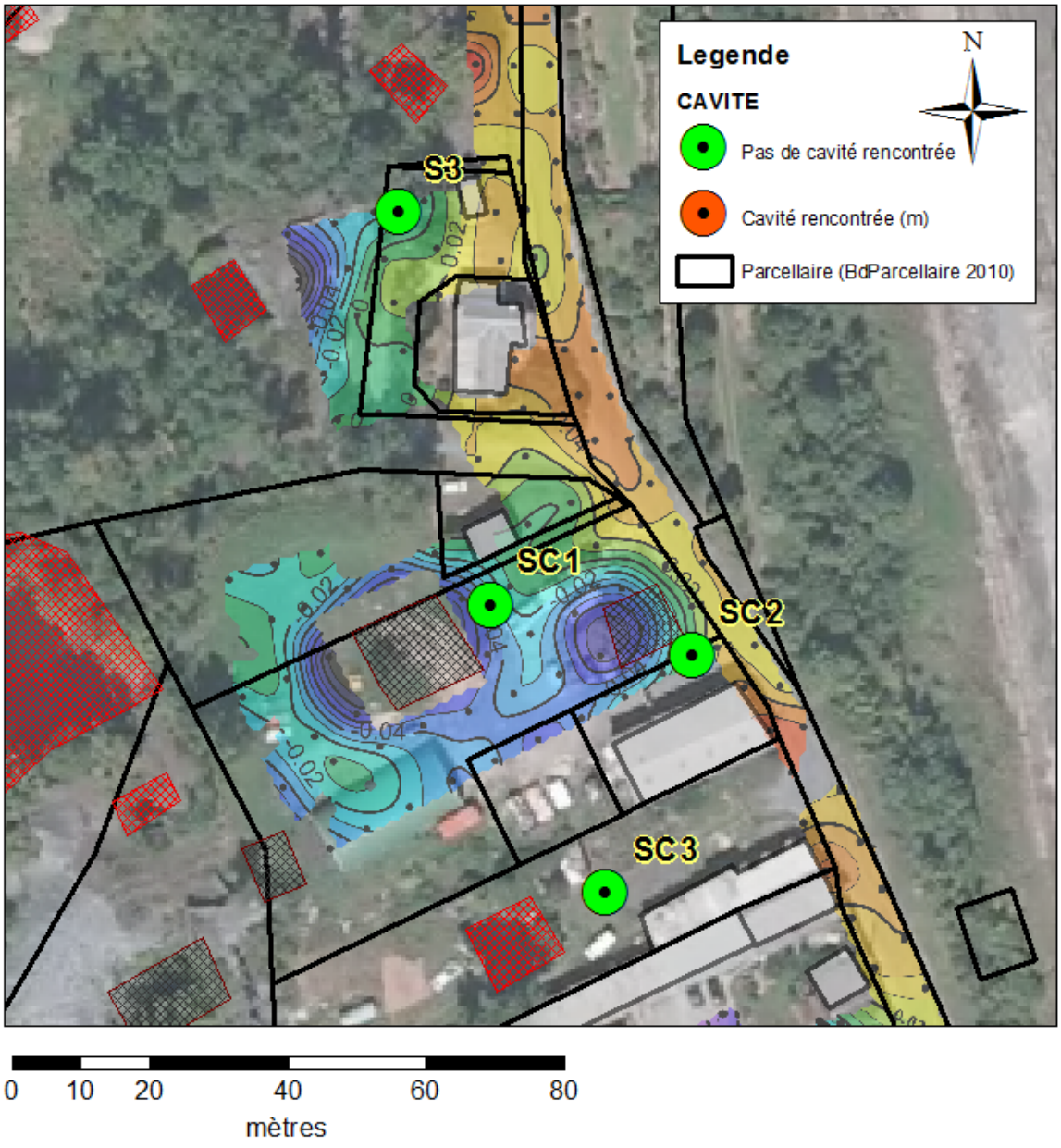


Figure 55 : Localisation des sondages, zone maison du Gardien

SC3 a rencontré, à une profondeur de 6 mètres, des schistes très fracturés (annexe sondages)

Dimensionnement de la cavité L2

En février 2014, par des travaux menés lors de la mise en sécurité de la parcelle dite du ‘’carrossier’’ et à la suite de l’effondrement de janvier 2014, le puits L2 a été investigué par sonar pour réaliser une première estimation de la géométrie des puits ouverts.

Cette investigation a produit l’image suivante (Figure 56)

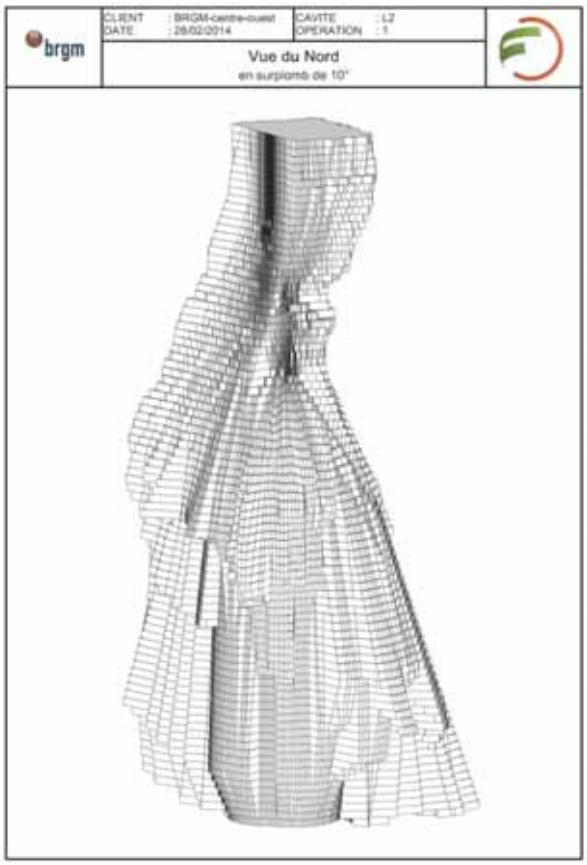


Figure 56 : Géométrie de la cavité L2

Elle résulte de 64 coupes d’auscultation de la cavité dont l’analyse a permis de définir un volume en eau d’environ 6 542 m^3. Le puits atteint 44 mètres de hauteur et la partie qui peut être associée à la chambre d’exploitation débute à 9 mètres de profondeur (profondeur du point le plus haut mesuré de la cavité 9,1 m, le plus bas est mesuré à 54,2 m)

La géométrie de cette cavité présente une forme d’exploitation du gisement avec le développement d’une chambre souterraine peu distincte du puits d’accès.

Cette configuration explique en partie la faible signature géophysique en surface de cette cavité puisqu’elle n’apparait pas sous l’avenue des ardoisières en son point le plus proche de L2. En revanche, l’extension vers le sud-sud-ouest de cette chambre participerait à l’apparition des valeurs négatives en microgravimétrie au coin nord-nord-ouest de la parcelle de la maison du gardien.

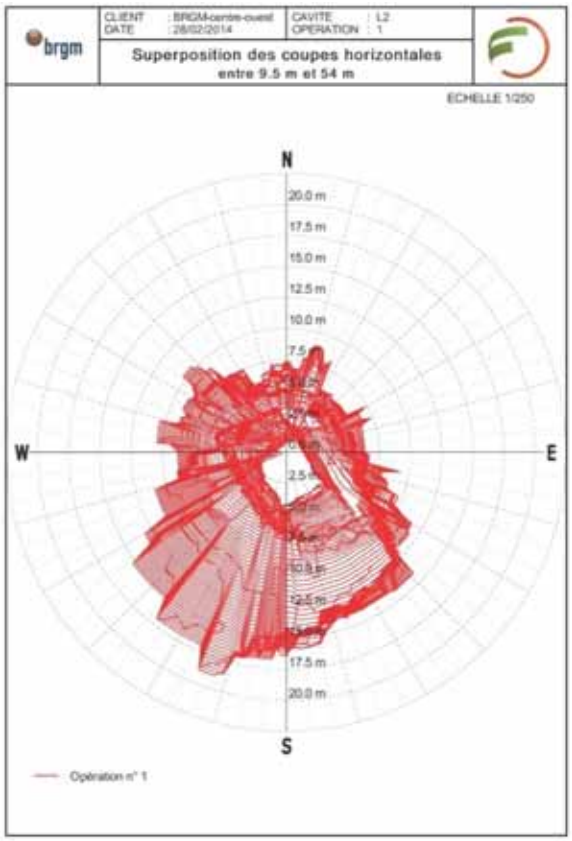


Figure 57 : Représentation des coupes horizontales réalisées sur la cavité L2 par superposition.

2.4. ANALYSE DE L'ALEA, SITE DE LA PARCELLE DE LA MAISON ET VOISINAGE

Les trois aléas sont possibles pour ces puits : tassement/débourrage, chute de voutes et cône d'effondrement.

Intensité des phénomènes redoutés (indices d'intensité)

- ***Tassement/débourrage***

  L'espace créé par le précédent débourrage du puits B3 est en cours de remblayage, par conséquent un nouveau tassement / débourrage n'est pas à exclure, de même pour le puits L1. Compte tenu de la hauteur pluri-métrique du débourrage de 2014, il s'agit d'un phénomène d'intensité élevée.

- ***Chute de voute***

  Les cavités des puits L2 et B4 sont en eau. Les cavités des puits L1 et B3 présentent des vides potentiellement important au regard des processus de débourrage qu'ils ont pu subir par le passé. L'extension de terrains potentiellement affectés est supérieure à 80 m². L'effondrement de plusieurs cavités est redouté. Il s'agit de phénomènes d'intensité très élevé.

- ***Cône d'effondrement, reprise de profil d'équilibre***

  L2 et B3 présentent des signes de mouvement des remblais qui traduisent la mise en place de cônes de profils d'équilibre. Sur l'ensemble de la zone, la présence de remblais en surface prédispose également ces terrains à la mise en place de ces cônes de profil d'équilibre des talus que pourraient générer des effondrements de voute ou des débourrages de puits.

  Compte-tenu de la lithologie de ces remblais, la pente d'équilibre attendue serait de 45° d'où une intensité du phénomène établie comme élevée au regard de la profondeur atteinte lors des phénomènes déjà observés.

Prédisposition aux phénomènes

- ***Tassement/débourrage***

  Les puits remblayés sont associés à de probables cavités mises en évidence par l'anomalie gravimétrique ; de ce fait, ils présentent une prédisposition très forte à ces phénomènes. B3 et L1 ont déjà subi ce type de phénomènes depuis leur remblaiement dans les années 1980.

- ***Chute de voute***

Aucun indice ne permet d'exclure de tels mouvements dans un futur proche. Les sites du ''grand filon'' situés immédiatement à l'est des filons des puits B3 et B4 ou L1 et L2 ont subi des effondrements de voute. La nature des voutes du filon bleu, observée dans la carrière actuellement en exploitation à une centaine de mètres, puits B7, ne semble pas homogène (Figure 59).

B3 (Figure 60) présente des désordres aux abords immédiats de l'ouvrage hors de la zone d'emprise du puits donc au droit de la cavité supposée. Les puits B° appartiennent au même filon (Figure 58). N'ayant pas d'information sur l'épaisseur des terrains de recouvrement, celle-ci est estimée à 10 / 15 m, et la sensibilité à de tels phénomènes est par conséquent considérée comme forte (L2 et B4) à très forte (B3)

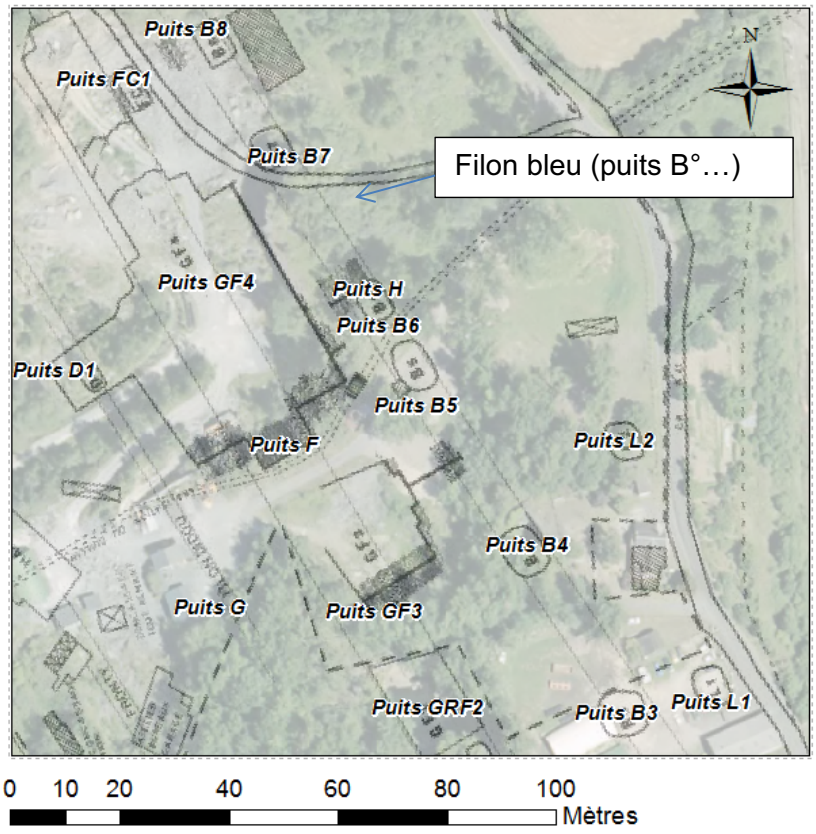


Figure 58 : Alignement des puits et filons des ardoisières (rapport BRGM 1984)

Figure 59 : Voute de la cavité associé au puits B7, mise au jour dans la carrière actuelle (Bugeat), Photo BRGM fev. 2014

Figure 60 : Désordres sur B3, en direction du nord (vers B4, août 2015)

- ***Cône d'effondrement, reprise de profil d'équilibre***

  L2 et B3 (Figure 34 et Figure 61) présentent des signes de mouvement des remblais qui traduisent la mise en place de cônes de profils d'équilibre. Sur l'ensemble de la zone, la

présence de remblais prédispose également ces terrains à la mise en place de ces cônes de profil d'équilibre des talus que pourraient générer des effondrements de voute ou des débourrages de puits. Associés aux phénomènes de tassement ou de chute de voute de sensibilité forte à très forte, cet aléa hérite d'une prédisposition forte à très forte.

Figure 61 : progression du cône d'effondrement en B3

Evaluation des aléas sur le site de la maison du gardien

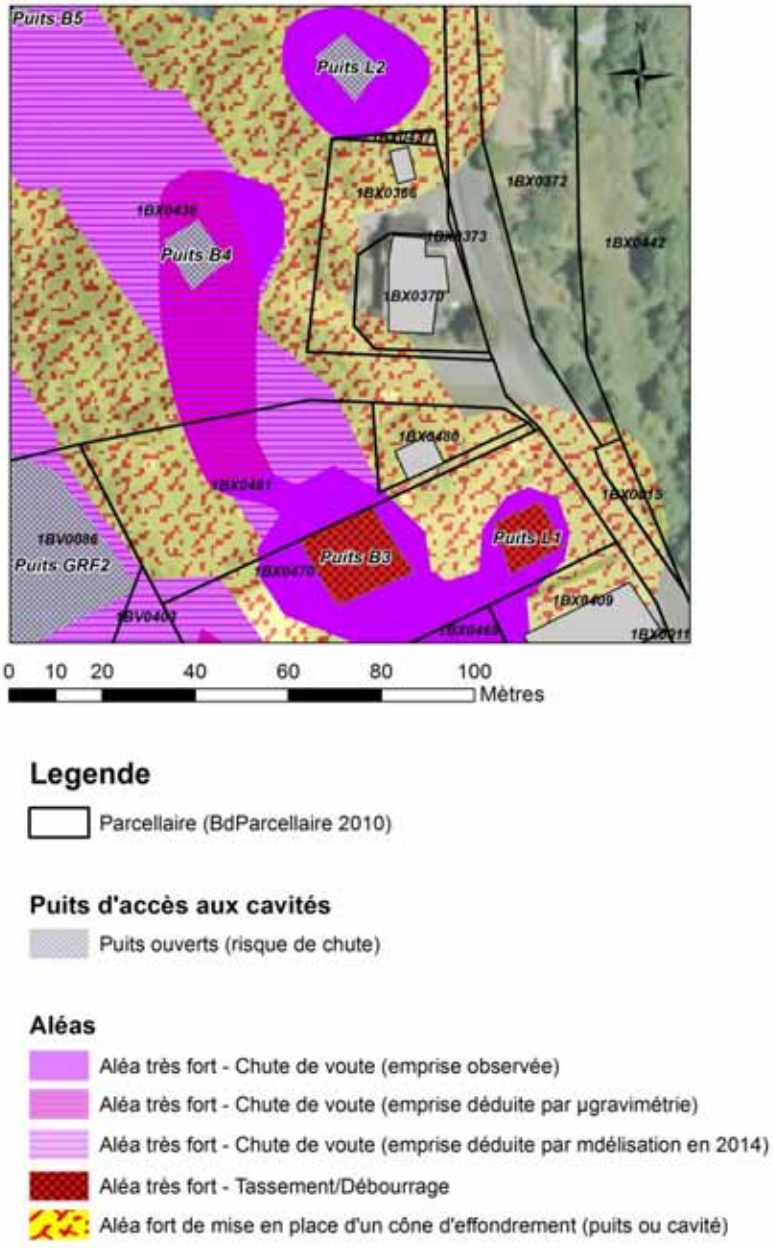
Les tableaux ci-dessous présentent les matrices de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site de la maison du Gardien.

Concernant l'aléa Tassement Débourrage, une intensité élevée, associée à une prédisposition très forte, donne un aléa très fort. Pour le phénomène Effondrement de voutes, l'intensité très élevée est associée à une prédisposition forte à très forte, d'où un aléa très fort. Enfin, le cône d'effondrement présente un niveau d'aléa fort, par croisement d'une intensité modérée et d'une prédisposition forte à très forte.

		Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité		***Tassement débourrage***			
Très limitée		ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée		ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré		ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES

					FORT
Élevée		ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	**ALEA TRES FORT**
Classe d'intensité		***Effondrement de voutes***			
Elevé		ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA TRES FORT**
Très Élevée		ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité		***Cône d'effondrement reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée		ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée		ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré		ALEA MODERE	ALEA MODERE	**ALEA FORT**	**ALEA FORT**
Élevée		ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA FORT**

La transcription sous forme cartographique de cette analyse est présentée sur la figure suivante



La maison du gardien n'est pas soumise à un aléa de type tassement ou débourrage de puits ni effondrement de voute.

En revanche, la parcelle cadastrée qui correspond au jardin de la maison est soumise au risque lié à un cône d'effondrement qui pourrait être associé à l'effondrement des puits B4 ou L2 voisins ou des cavités auxquelles ils accèdent.

Risques identifiés

Le terrain à usage de jardin de la maison, qui s'étend sur la parcelle voisine vers le puits B4 est soumis à un aléa très fort (Figure 62). Cette analyse a fait l'objet dès l'observation des mouvements de terrain autour de B3 d'une communication auprès des services techniques de

de la mairie d'Allassac pour une mise en sécurité du site par la pose d'une rubalise matérialisant l'extension de la zone à risque.

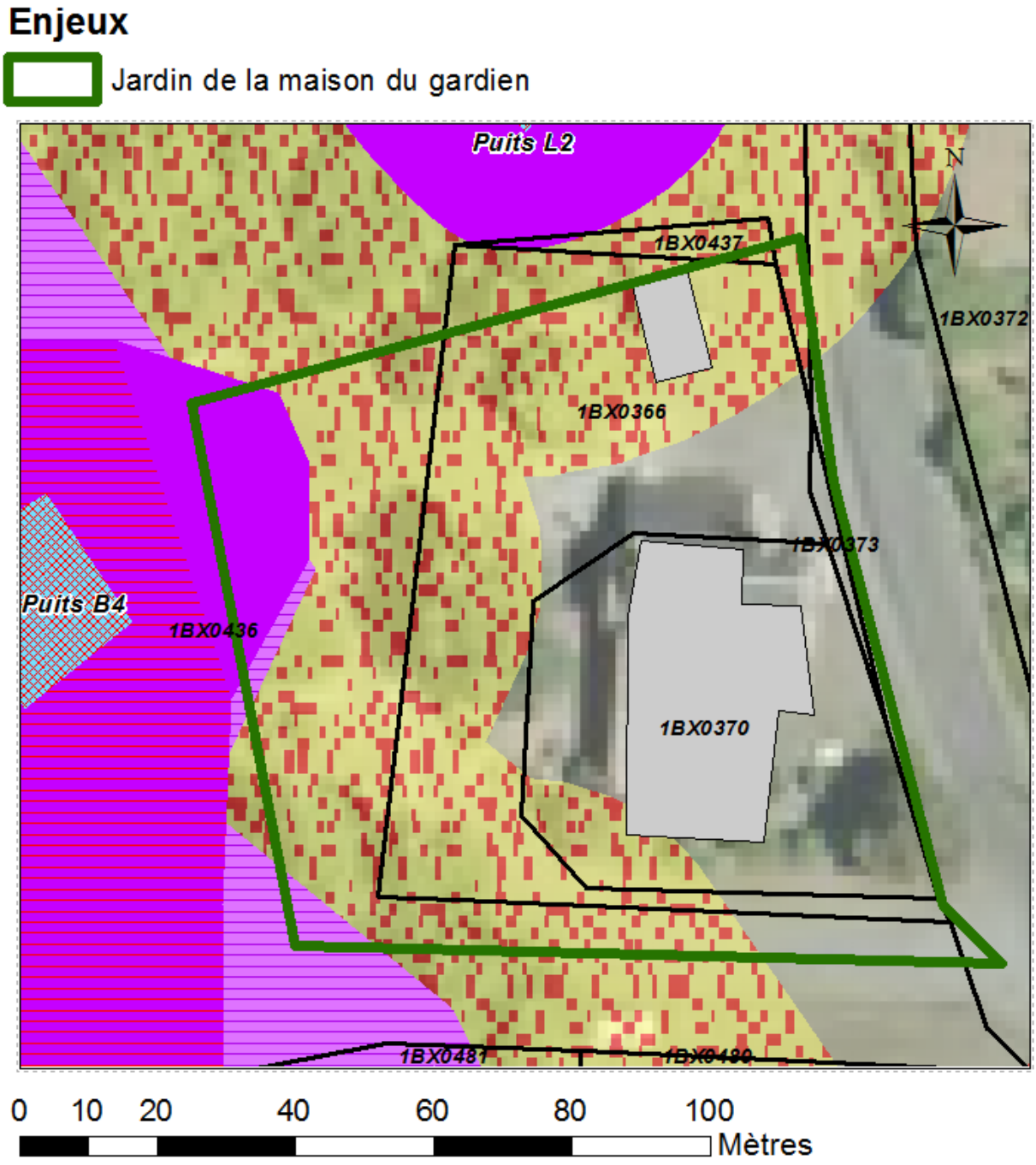


Figure 62 : Aléas sur le jardin de la maison du gardien

2.5. REMEDIATION POSSIBLE

Mise en sécurité immédiate

Au regard du risque d'affaissement lié à la mise en place d'un cône de profil d'équilibre des remblais aux abords des puits ou des cavités, le jardin de la maison d'habitation est impacté. L'information des usagers et des habitants doit être faite.

Traitement de l'aléa

Ce type de phénomène (cône d'effondrement), s'il est qualifié d'aléa fort à très fort, n'a cependant pas la même dynamique qu'un effondrement brutal des terrains naturels. Le risque, si l'enjeu est humain, est faible, et la vitesse de mise en place permet le recul des personnes. En revanche le risque pour des infrastructures ou du bâti interdit toute construction non temporaire sur ces zones.

Au regard de la dimension supposée des cavités (L2 et B4), des conditions d'accès aux remblais qui éventuellement les composent (B3 et L1), aucune remédiation n'est économiquement envisageable aux risques que présente la mise en place d'un cône d'effondrement lui-même associé à une éventuelle chute de voute ou effondrement d'un puits.

Traitement des enjeux

La mise en place d'une clôture destinée à matérialiser la partie de la parcelle soumise à un risque d'effondrement de voute et sa séparation de la parcelle soumise au cône d'effondrement doit être réalisée. Elle permettra de remédier au risque d'une occupation accidentelle de la parcelle à risques élevés qui pour l'instant n'est pas distinguée de la parcelle à usage de jardin de la maison.

2.6. SUIVI DE SITE

1 - Le site peut être suivi avec en premier lieu l'entretien et la matérialisation des parcelles soumises à un risque d'effondrement de voute (mise en place de clôtures).

2 - Le suivi de l'état des puits, parement des ouvrages et évolution de la végétation, a pour objectif d'anticiper ou suivre et fixer l'apparition d'un cône d'effondrement aux abords de ceux-ci.

3 - Le suivi des niveaux piézométriques dans les puits B4 et L2 compose également un indicateur d'éventuels désordres dans les remblais du fond de cavité. L'exemple fourni par l'effondrement de GRF1 en 2014 avec la baisse remarquable des niveaux piézométriques est probablement l'un des facteurs du débourrage de B3.

Figure 63 : Niveau d'eau en GRF2 en mars 2014

Figure 64 : Niveau d'eau en T, octobre 2011

Ce suivi n'est en aucun cas assimilable à un dispositif d'alerte. En l'absence d'accès aux cavités, aucun indice n'est utilisable pour anticiper un effondrement. Le suivi des niveaux piézométrique compose un élement du faisceau d'indicateur qui peuvent concourir à une surveillance plus rapprochée des indices indirects d'évolution des terrains (chute d'arbre en bordures de puits, chutes de pierres du parement des puits,….)

2.7. SYNTHESE SITE

SITE					**Maison dite du Gardien**
Chapitres du rapport					*Site de la maison du Gardien*
ALEAS présents sur SITE	**Effondrement de voute**	**remplissage des cavités**	***Epaisseur du toit de la cavité (nature)***		
			EAU (m^3)		**sans objet (s.o.)**
			AIR (m^3)		**(s.o.)**
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)		**(s.o.)**
	Tassement Débourrage	***associé aux puits :***			**(s.o.)**
	Cône d'effondrement	***associé aux puits ou cavité de :***			**B4 B3 L2 Cavités associées à B4 et L2**
ENJEUX inventoriés	**Primaires sur cavité (Enjeux sur site)**				
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)				
	Secondaires sur cône				La parcelle à usage de jardin
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	**Action proposée par ordre indicatif de priorité**			**1**	**Information**
				2	**Cloture parcelle**
				3	
				4	
	Remédiation envisageables, prérequis				Sans objet
	Techniques de remédiations				Sans objet
	Contrainte traitement eau				NON
	Interdépendances des sites				A
Propriétaire					**Particulier**

3. Site des bâtiments communaux et du minotier

Ce secteur est le plus proche du tissu urbain ancien d'Allassac. En 1949 il est largement occupé par un bâti au sud dont les maisons sont contemporaines des activités ardoisières. Aucun indice de puits ou de stériles n'est connu au droit de ces maisons anciennes aux dires des habitants du secteur et des services municipaux.

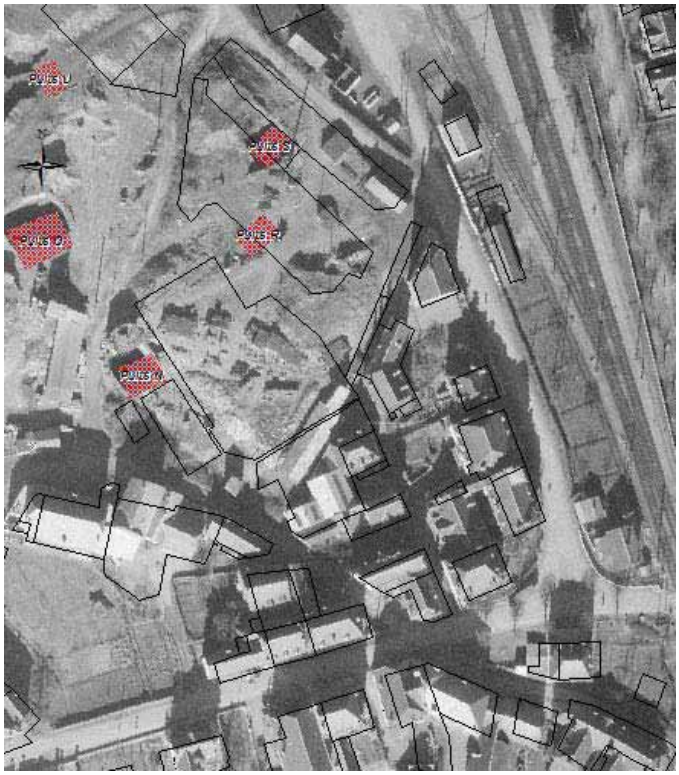


Figure 65 : Secteur sud, bâti en 1949

Figure 66 : 3. Site des bâtiments communaux et du minotier; état initial des connaissances

Figure 67 : Site des bâtiments communaux et du minotier; redéfinition de l'aléa à en octobre

de l'aléa (2014)	*2015*

3.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE :

Le site des Bâtiments municipaux se situe dans l'extrémité sud du gisement ardoisier (Figure 1), près du lieu où la série schisteuse s'ennoie sous les grès du Permien.

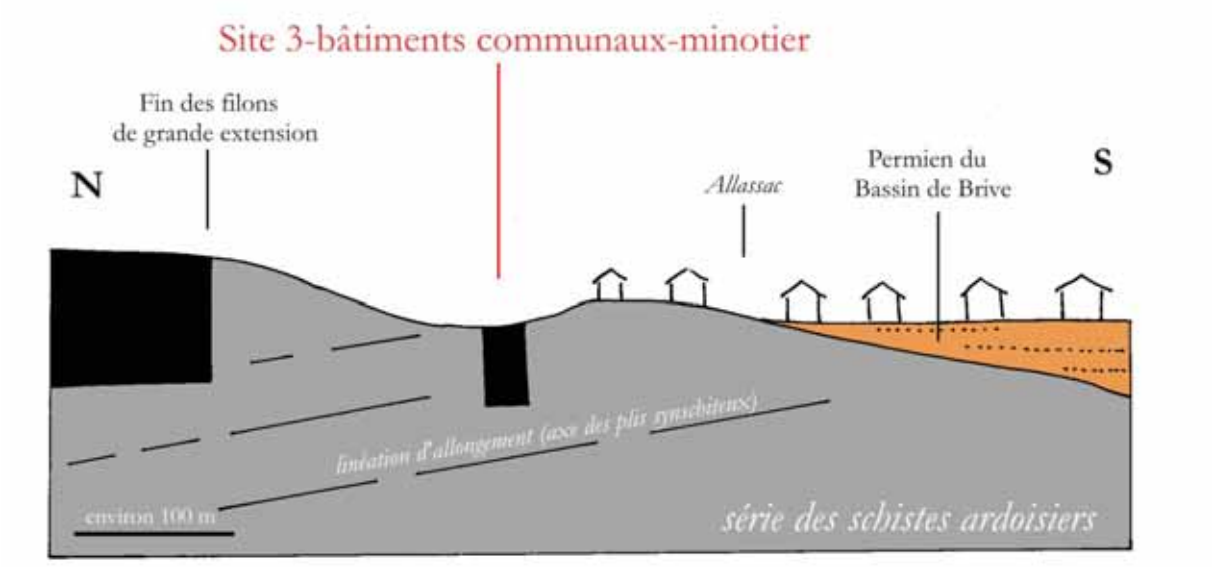


Figure 68 : localisation du site 3 sur une coupe N-S interprétative, parallèle à la linéation d'allongement du site ardoisier.

Selon la carte géologique de Tulle, N° 761, la formation ardoisière d'Allassac se prolonge sous les formations permiennes du bassin de Brive. Un niveau de schiste graphiteux, situé au cœur de la zone exploitée pourrait correspondre à un axe de pli d'ordre 1. Cette géométrie très simple n'est pas visible sur le terrain et constitue une simple hypothèse. La réalité est probablement plus complexe. On peut envisager d'autres hypothèses comme l'interruption brutale du gisement par une faille qui recoupe l'ensemble des veines ardoisières, ou un morcellement en divers blocs structuraux dans un couloir constitué par diverses failles.

Les exploitations du site des bâtiments communaux ont exploité des veines ardoisières qui sont dans le prolongement des 6 veines classiquement exploitées plus au nord, mais dont l'identification n'a pas été réalisée dans ce secteur. Cela peut signifier que la structuration de cette zone est plus complexe, voire située sur la charnière d'un pli d'ordre 1 ou supérieur.

Les sondages S5, S6, S7 et S8 (Figure 76), réalisés sur ce site montrent quelques passages à vitesse d'avancement rapide qui peuvent correspondre à des zones de fractures ou de failles importantes. Notons en particulier sur le sondage S5 une importante zone à avancement rapide entre 5,50 et 6,00 m.

Le sondage S9 (réalisé dans la parcelle cadastrale n° 418) réalisé chez le minotier montre plus particulièrement une zone de schiste altéré sur les 5 premiers mètres, puis une zone de schistes compacts jusqu'à la fin du sondage à 30 m. Hormis quelques fractures élémentaires de petite envergure, cette formation ne présente pas de faille importante. Le sondage S14, montre également une zone altérée près de la surface, jusqu'à une profondeur de 10 m. Il ne se situe pas sur le passage d'une faille importante.

3.2. ETAT DES CONNAISSANCES

Contexte historique

La parcelle située au nord de la rue des pénitents fut celle de l'exploitation « Pestourie ». L'un des puits, le plus proche du bâtiment de Rabadan atteindrait les 120 m de profondeur. Ces puits ont servi autrefois de décharge, les gens y jetaient des ordures mais le puits ne fut jamais comblé. Les entrepôts de la mairie appartenaient autrefois à l'entreprise Lapeyre, qui a vendu ses terrains et est partie s'installer à Brive. Ce déménagement s'est effectué sans doute suite à un débourrage de 8 m d'un des puits de la parcelle.
Selon les deux personnes interrogées, il existerait une galerie sous la route entre le puits O et celui du Minotier. « Le fils de A.C. y jouait quand il était petit ».

- ***Puits R et S***

Le puits S sera décrit au chapitre 0. Il est situé sous les hangars de la mairie et il est remblayé dès 1963. Des désordres apparaissent au droit de ce puits : fissuration de la dalle béton qui le recouvre. Le puits S est en relation avec une chambre d'exploitation souterraine, elle sera mise en évidence par les sondages d'investigation.
Des conditions de remblayage non connue d'une probable cavité composent un aléa non négligeable identifié dans l'étude 2014.

Le puits R et le puits S présentent des désordres remarquables. Des fissures au sol dans la dalle de béton qui les couvrent en marquent l'extension.

Figure 69 : Désordres associés au puits R

Les murs de bardage en parpaings des hangars sont fissurés horizontalement lorsqu'ils sont pour partie situés sur ces deux puits

- ***Puits N***

Le puits du Minotier, puits N présente des désordres remarquables et une évolution typique des puits ardoisiers de la commune. Il a subit au moins un débourrage dans les années 1970 (d'après témoins). En 1963, à la suite des inondations catastrophiques d'août, il servit de décharge à de nombreux débris charriés par les crues torrentielles qui s'abattirent sur la ville. La nature particulière de ses remblais peut expliquer la faible cohérence des matériaux et le débourrage des années 1970.

Sur ce puits sont installés deux silos en bordure sud. Ces deux structures ont été remaniée afin de compenser leur affaissement coté puits par la mise en place de renforts sous les piliers de support.

Figure 70 : Silos dits du Minotier sur le puits N

Le puits N est recouvert d'une chape de bitume, celle-ci s'affaisse en dégageant une partie de son empreinte le long du bardage du bâtiment du minotier.

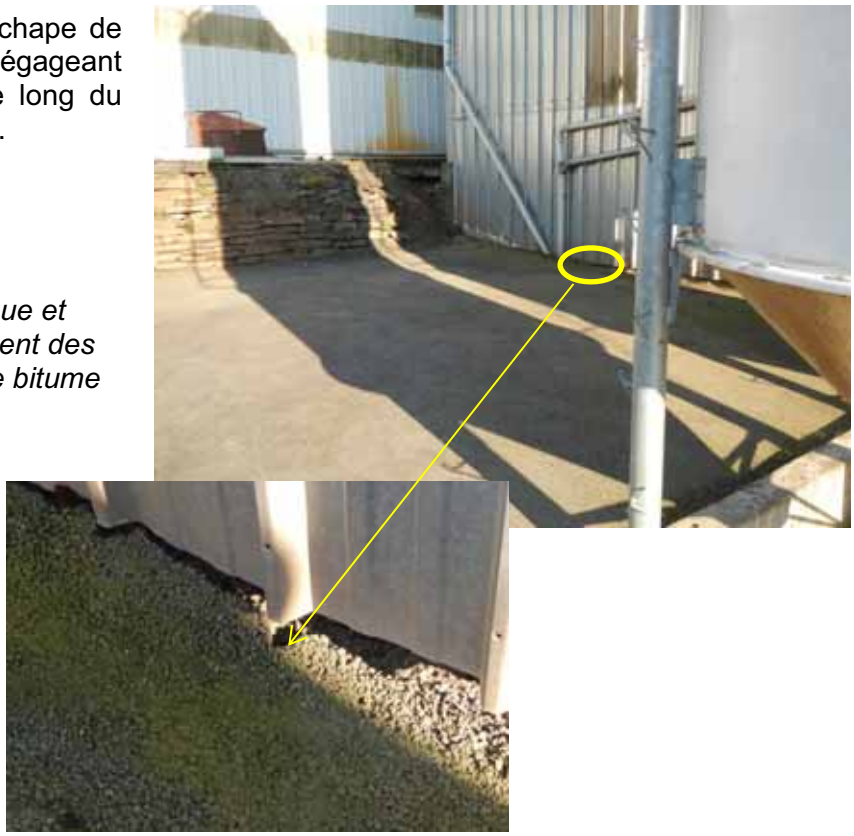


Figure 71 : Bardage métallique et empreinte marquant le tassement des remblais soutenant la chape de bitume

Ainsi, les mouvements de tassement qui affectent les puits R, S et N sont encore actifs actuellement.

Figure 72 : Secteurs Hangars-Minotier 1949

En 1949, seuls les puits S et N sont visibles sur le secteur d'étude

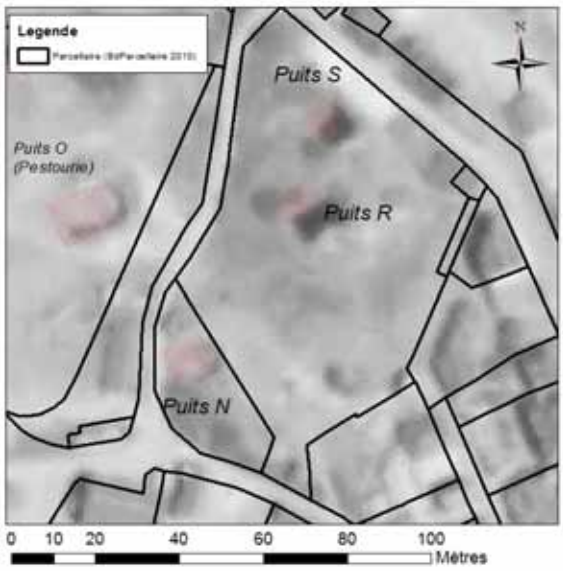


Figure 73 : Secteurs Hangars-Minotier1959

En 1959, les puits S et N sont visibles et le puits R apparait sur le secteur d'étude.

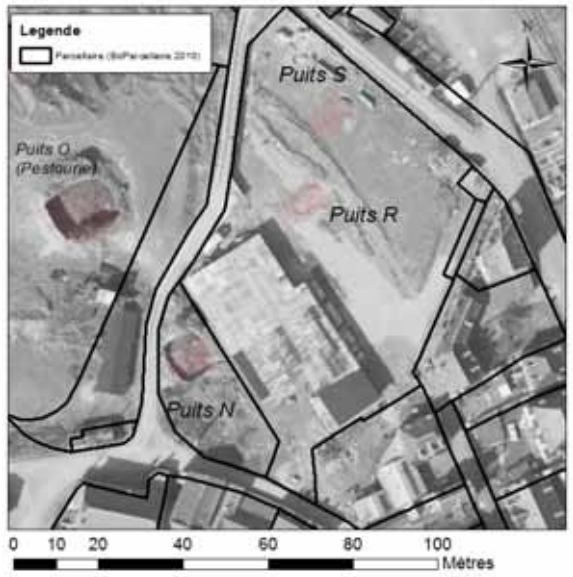


Figure 74 : Secteurs Hangars-Minotier 1963

En 1963, les puits R et S sont comblés. Aucune donnée n'accompagne ces puits quant à la raison d'un abandon malgré la réalisation d'un puits supplémentaire entre 1949 et 1960.
En revanche, la présence de ce puits semble être, comme cela sera vu plus loin sur le site de Chartroulle, le signe de l'extension d'une cavité souterraine dont l'extension peut avoir nécessité la réalisation d'un puits complémentaire soit pour l'accès au fonds des ouvriers soit pour l'extraction des blocs. La campagne de de microgravimétrie à suivre montrera le caractère excentré de ce puits par rapport à l'anomalie observée.

Enfin, d'après l'exploitant des silos, ceux-ci ont été régulièrement redressés (Figure 70). Les deux silos nord, sur le puits N, présentent des calles de rattrapage de niveau. Le silo au sud est sur une chape fissurée et l'exploitant signale l'avoir également redressé. En revanche ce silo n'est pas sur un puits ancien et ses mouvements seraient alors attribués à des mouvements du toit d'une éventuelle cavité.

3.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DES HANGARS ET DU MINOTIER

Campagne de géophysique

Une campagne microgravimétrique a été réalisée afin d'identifier la présence d'un aléa éventuel lié aux puits identifiés sur zone. Les points de mesure ont été effectués sur la parcelle et dans les bâtiments.

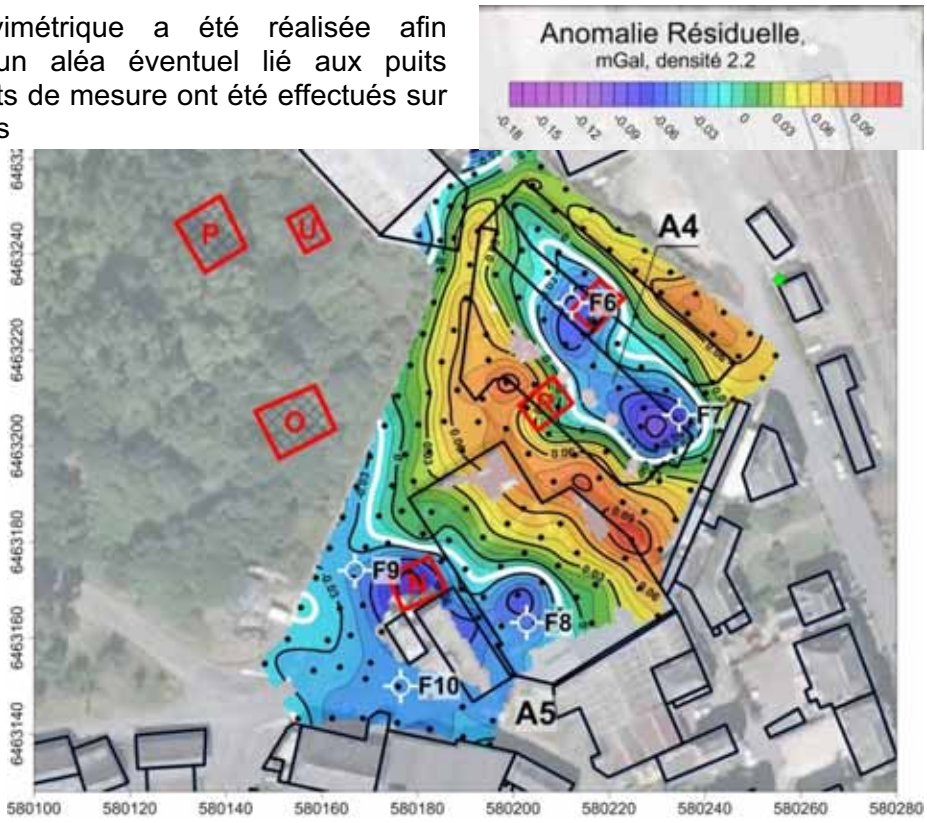


Figure 75 : Anomalie résiduelle (mGal), l'iso contour blanc marque les anomalies significatives

L'anomalie A4 est bien circonscrite et bilobée. Elle atteint -0.09 mGal. Cette anomalie est possiblement à relier aux puits R et S. L'anomalie A5 n'est pas circonscrite, et présente un minimum de -0.09 mGal au droit du puits N mais également une valeur remarquable dans le bâtiment dit Lapeyre (point f8). Cette anomalie n'est pas liée à un puits ancien, il n'en est pas fait mention ni par des témoins anciens ni sur photos aériennes ou plans.

Réalisation de sondages

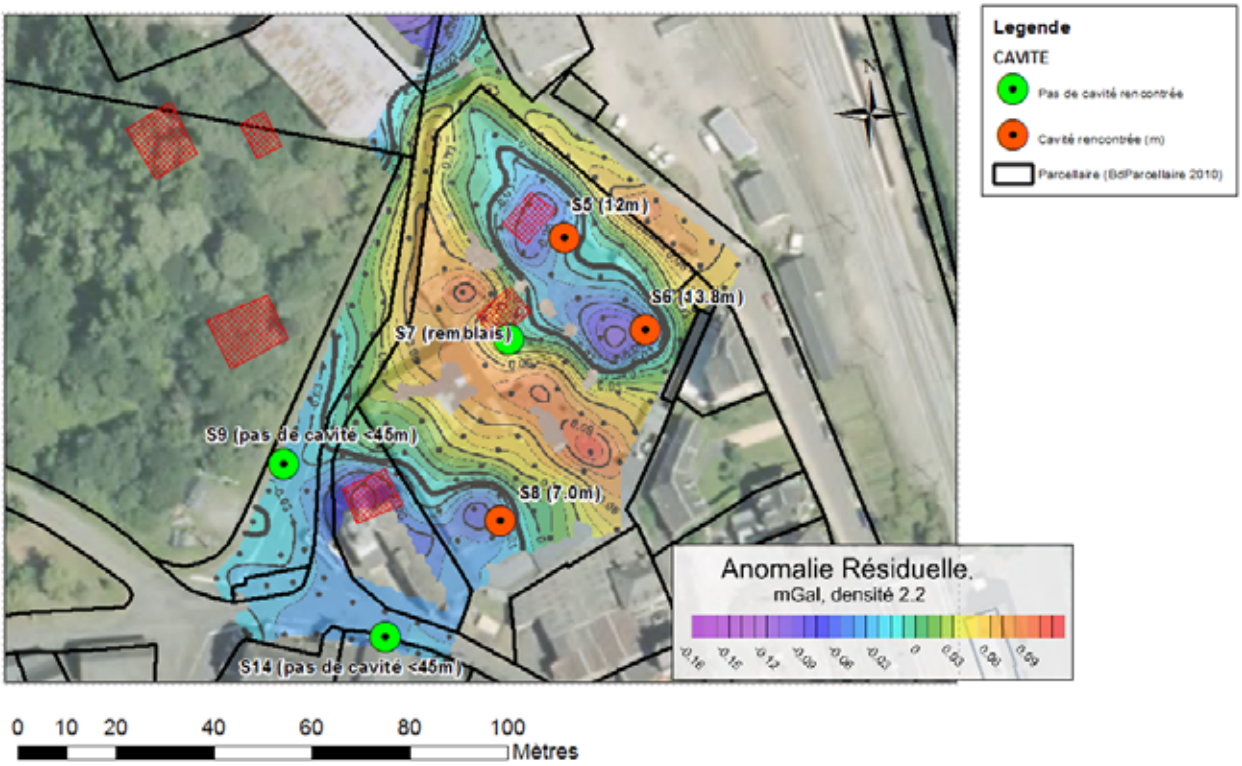


Figure 76 : Implantation des sondages sur les anomalies du secteur Hangars-Minotier

Le sondage S5 indique la présence d'une cavité remblayée de limons, sous nappe, à partir de 11,8 m de profondeur et jusqu'à la profondeur d'arrêt du sondage soit 20 m.

Le sondage S6 (30.0 m de profondeur) montre également une cavité remblayée et en eau à partir de 13.8 m et jusqu'à la profondeur d'arrêt du sondage.

Le sondage S7, d'une profondeur de 30 m n'a pas identifié de cavité sur toute sa hauteur.

Le sondage S8, réalisé dans le bâtiment Lapeyre montre une cavité à partir de 7.0 m jusqu'à 15.0 m de profondeur, remblayée et contenant des débris anthropiques : verre, ferrailles, vaisselle. La probabilité que ces débris soient issus de déchets ménagers versés dans le puits est forte. La distance qui sépare ce sondage de l'ouverture du puits N est de 20 mètres.

Les sondages S5, S6 et S7 ont été réalisés avec une inclinaison de 4° en raison de la présence de bâtiments.

Figure 77 : réalisation du sondage S8 à l'intérieur du bâtiment Lapeyre

Dimensionnement des cavités

Une seule cavité a pu être dimensionnée sur le site des hangars. Elle est associée au sondage S5. Le détail de ces mesures est donné en annexe 2. La Figure 78 schématise son emplacement en partie sous les bâtiments municipaux

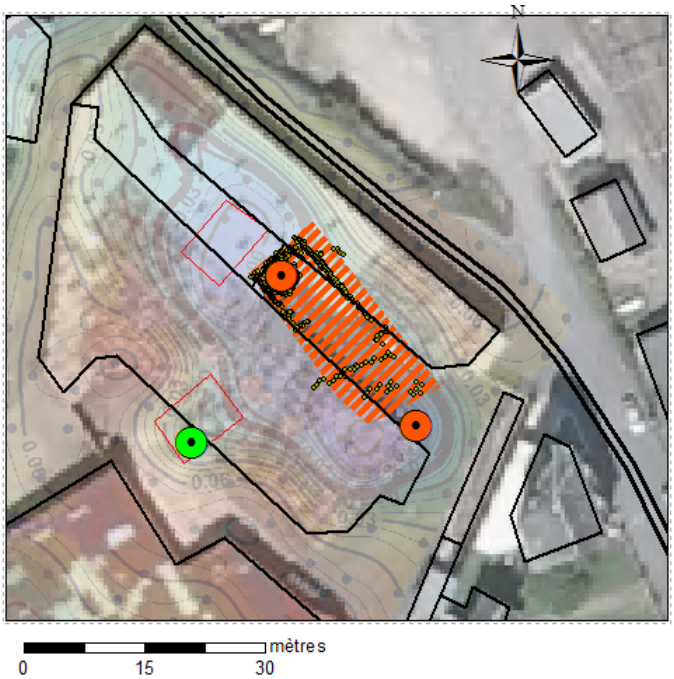


Figure 78 : Emprise de la cavité en eau observée par sonar depuis S5

3 coupes horizontales seulement ont pu être réalisées à travers le tubage pour ausculter la cavité S5. Le volume obtenu après interprétation est d'environ 113 m^3. Une descente de l'explorer (température, super-CCL, gamma-Ray et inclinaison) a été réalisée avant la mesure sonar.

La cavité est à 12 mètres de profondeur. Elle est en eau et remblayée sur toute sa hauteur excepté le dernier mètre. L'épaisseur totale de ces remblais n'est pas connue... Les données enregistrées à l'avancement des sondages montrent des variations de vitesses et de pression très importantes dans ces remblais qui illustrent leur hétérogénéité. L'axe d'allongement maximal de la cavité est de 24,7m pour une largeur inférieure à 10m

La présence de remblais dans la cavité peut expliquer la présence de vide au-delà de l'emprise du puits ; le processus de remblaiement par le puits générant un talus puis une zone de vide sous le toit horizontal de la cavité. La présence d'eau dans ces remblais et leur texture fine (pour la partie superficielle des remblais forés), a entraîné une forme de comblement gravitaire en composant un matériau semi-humide. Les vides restants ne pouvant alors être comblés que par des injections sous pression.

3.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DES HANGARS ET DU MINOTIER

Selon le logigramme d'interprétation des sites d'exploitation (figure 4), le secteur présente des puits remblayés et des cavités souterraines remblayées en partie ou non.

Anomalie des hangars de la mairie

L'anomalie des hangars de la mairie, anomalie A4 (Figure 74) est composée d'une cavité (vide observé) et de deux puits d'accès remblayés. Elle présente la typologie C (puits ou cavité en partie remblayé). Les têtes de puits R et S sont sous des dalles béton; l'hypothèse B peut être

rejetée d'un vide équivalent à une chambre d'exploitation non remblayée sous la dalle au regard de l'observation directe de la cavité. En revanche les matériaux se tassent et le phénomène de tassement ou de débourrage des puits ne peut être rejeté. Le secteur peut évoluer en 1 ou 2 (tassement ou chute de voute) puis un cône de profil d'équilibre peut se mettre en place associé au puits ou à la cavité avec tassement des matériaux de remblais dans la cavité (i,j,k).

Anomalie Secteur Minotier et bâtiment Lapeyre

L'anomalie du secteur Minotier est composée d'un puits et d'une cavité (en partie reconnue et remblayée). Le puits remblayé en 1990 forme un ouvrage en relation probable avec au moins une chambre d'exploitation souterraine dont le remblaiement est fait de matériaux fluant (la présence d'eau est confirmée en S8). La communication entre S8 et le puits N est hautement probable, S8 présentant des matériaux dont l'origine peut être associés aux remblais de N. L'anomalie présente la typologie C (puits et cavité en partie remblayé). La cavité supposée par la micro gravimétrie entre le puits N et le sondage S8 est en toute probabilité remblayée de matériaux fluant. Elle peut présenter des vides au-delà du sondage S8 et notamment sous le bâtiment du minotier dont le sous-sol n'a pu être investigué. Le secteur peut donc évoluer en 1 ou 2 puis un cône de profil d'équilibre peut se mettre en place associé au puits ou à la cavité avec tassement des matériaux de remblais dans la cavité (i,j,k)

Intensité des phénomènes redoutés

Anomalie des hangars de la mairie

La chute de voûte est à un niveau d'intensité très élevé sous les hangars, extension supérieure à 80m² et vide identifié pluri-métrique. L'intensité d'un mouvement de type débourrage des puits R et S est élevée, de plus le tassement est d'ores et déjà observé.

Anomalie Secteur Minotier et bâtiment Lapeyre

La chute de voûte est à un niveau d'intensité élevé sous le minotier (surface supérieure à 80 m²).

Le niveau d'intensité pour l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre est élevé dans les deux zones d'anomalie. En effet, compte tenu de la nature des formations et l'orientation de la schistosité (verticale), la pente des terrains après effondrement et mise en équilibre du cône sera forte.

Prédisposition aux phénomènes redoutés

En termes de probabilité *d'effondrement de voute* sur ce secteur, il n'y a pas de série historique permettant d'élaborer une gamme de période[13]. Cependant, on observe des désordres sur les dalles de bétons des hangars ou au droit des puits.

[13] A 10 ans la rupture est peu probable, en revanche à 100 ans elle est probable. Le site des ardoisières d'Allassac (secteur Pissote) a connu 3 évènements sûrs d'effondrement de voute, en 1902, 2011 et 2014. En 2015 des signes d'effondrements de voute se manifestent en B3.

Compte-tenu de l'épaisseur inférieure à 10 mètres de matériaux de recouvrement, on retient une prédisposition très sensible.

En termes de probabilité *de tassement des puits R,S ou N*, une série historique peut être appréhendée en considérant un tassement de N (déduit des désordres de la partie bitumée, désordres de fréquence annuelle) et du débourrage des années 1970, donc une probabilité d'occurrence inférieure à 10 ans. Pour les puits R et S, des signes de tassements auraient conduit au déménagement de l'entreprise Lapeyre. Le tout donne une probabilité d'occurrence de 10 ans sur le phénomène de tassement.

Néanmoins, à partir des observations de 2015 et des désordres observés, et puisque nous sommes en présence de puits remblayés associés à des cavités, la prédisposition au débourrage est très sensible.

La prédisposition associée à la mise en place de *cônes liés à la recherche de profil d'équilibre* s'appuie sur les prédispositions des autres phénomènes. Ainsi, la prédisposition est très sensible aussi bien dans le cas de l'effondrement de voute que dans le cas du débourrage des puits.

Evaluation des aléas sur le site des bâtiments communaux et du Minotier

Les tableaux ci-dessous présentent les matrices de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site de la maison des bâtiments communaux et du Minotier.

	Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité	*Tassement débourrage*			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	*Effondrement de voûte*			
Elevé	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT
Très Élevée	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	*Cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre*			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA FORT

Figure 79 : Tableau d'analyse de l'aléa - Hangars et Minotier

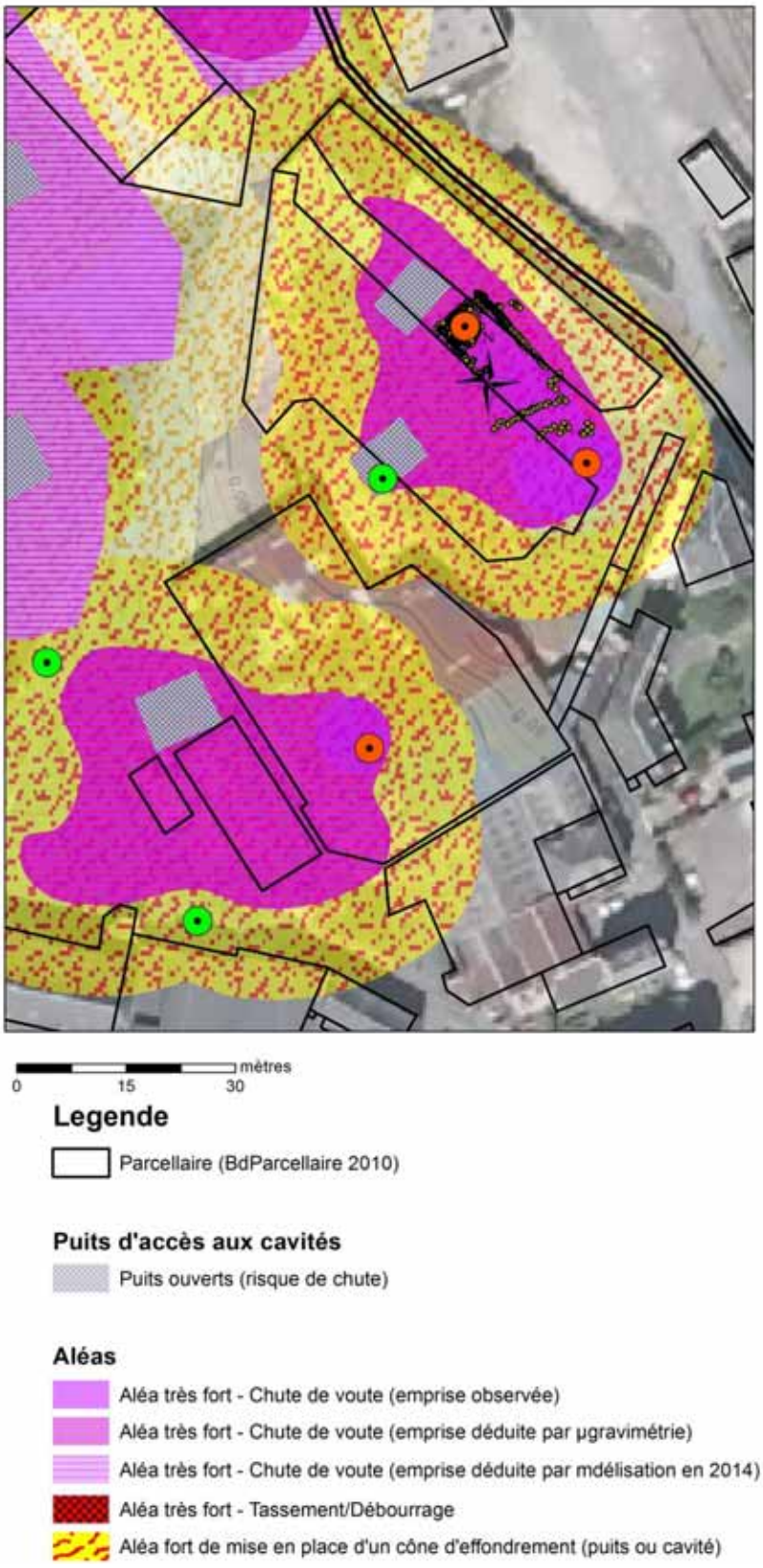


Figure 80 : Cartographie des aléas de la zone Hangars - Minotiers

Les aléas Tassement débourrage, chute de voûte et cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sont donc tous retenus avec **un niveau fort à très fort.**

La zone des hangars étendue jusqu'au bâtiment du minotier est présentée sur la carte de la Figure 80.

L'aléa cône d'effondrement est associé à chacun des puits ou cavités proches.

La rue des pénitents, comme à son croisement avec l'avenue des Ardoisières est exposée à l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sur une hypothèse d'une pente d'équilibre à 100 %. Plus au sud, elle est exposée à un aléa d'effondrement de voute associée à une cavité qui n'a pas été reconnue par sondage mais dont la présence est avérée à dire des témoins de l'époque. Au regard des réseaux enterrés (pluvial et électrique), des infrastructures liées au bâtiment du Minotier (les silos notamment qui reposent sur un puits présentant des signes de tassement), toute investigation complémentaire ne pourrait être effectuée sans une mise en sécurité des biens et des personnes nécessitant l'évacuation des enjeux.

La rue Antoine Bourdu est, entre son croisement avec la rue des pénitents et l'avenue du Midi, soumise à un aléa élevé de chute de voute et de mise en place d'un cône d'effondrement.

Risques identifiés

Du fait de la présence de rue à fréquentation élevée *(à confirmer par des données quantifiées)* dans la zone d'aléa, le risque mouvement de terrain est élevé.

L'aléa liée à la cavité associée au puits N, qui affecte le bâtiment dit ''Lapeyre'' et affecte également la rue Antoine Bourdu défini un aléa de type cône d'effondrement. Celui-ci affecte une parcelle bâti face au Minotier et des hangars à vocation industrielle.

Une diminution de l'aléa ou la suppression des enjeux diminueraient ces risques. Cela doit donc être précédé d'une reconnaissance de la cavité associée au puits N avec la mise en sécurité des personnes et des biens puis à des travaux de sondages dès lors que la parcelle sera effectivement évacuée.

A l'identique des mouvements de terrains constatés au moment de la réalisation du sondage S4 qui ont démontrés l'instabilité forte des puits, les conditions d'investigation seront à adapter à ce contexte de risque élevé.

3.5. REMEDIATION POSSIBLE

Mise en sécurité immédiate

Au regard du risque sur les enjeux bâtis (aléas chute de voute et tassement) et routes communales (aléa cône effondrement) une remédiation partielle est possible. En revanche en l'état des observations, une information est nécessaire auprès des usagers de ces bâtiments et notamment le bâtiment du Minotier. Leur évacuation est nécessaire. Sur la parcelle des bâtiments communaux un zonage avec restrictions d'usage est envisageable.
La rue des pénitents doit être déviée ainsi que la rue Antoine Bourdu dans sa partie soumise à l'aléa élevé de chute de voute en l'état des connaissances acquises sur le puits N et sa cavité associée.
L'information des usagers et des habitants doit être faite.

Traitement de l'aléa

Le traitement des aléas sur ce site suppose le traitement de deux cavités (associée au puits R&S et N) et de trois puits

La cavité associée aux puits R et S peut être remblayée ou comblée.
Par exemple, la chute provoquée du toit de la cavité sous les hangars municipaux permettrait, en matérialisant le vide, d'en gérer plus précisément les abords. Le comblement de la cavité associée aux puits R et S est également envisageable au regard des volumes en eau observés (env. 120m^3). Ces volumes d'eau, par la probabilité qu'ils soient éjectés lors d'une chute de voute accidentelle, composent un aléa par submersion des voies SNCF voisines. Leur pompage supprimerait, en l'état actuel de la cavité, l'aléa associé.

La cavité associée au puits N (dit du Minotier) doit être reconnue par des sondages complémentaires après mise en sécurité des enjeux et des personnes pour que puisse être envisagé une technique de remédiation.

Les puits R, S et N présentent chacun des risques de tassement et/ou débourrage. Aucune remédiation n'est envisageable de ces puits hors la mise en place d'un recouvrement permettant d'en limiter l'impact (dalle en béton, filet sous-œuvre…). L'occupation du terrain au droit de ces puits doit être contrôlée.

Traitement des enjeux

Voirie côté rue des pénitents. Il est possible de renforcer la structure de l'ouvrage routier avec des matériaux résistants aux déformations (pose de filet en sous-face) mais, ce type de dispositif n'est mis en place que lorsque les mouvements attendus en surface demeurent faibles donc hors emprise de cavité souterraine. Les investigations complémentaires B1 et B1' sont nécessaires pour lever l'inconnue liée à la cavité et les mouvements de remblais observés (§0). Le traitement de cet enjeu peut être conditionné au traitement de l'enjeu composé par l'avenue des ardoisières. En effet, cette dernière pouvant être déviée (§ 4.5), le maintien d'une liaison entre la rue A. Bourdu et l'avenue des Ardoisières par la rue des Pénitents n'aurait plus de justification

Voirie côté rue A. Bourdu. En l'absence de connaissance de la cavité aucun traitement n'est envisagé. Des investigations complémentaires au droit de la cavité associée à N sont nécessaires pour lever l'inconnue que compose l'aléa effectif de celle-ci sous la rue.

Bâti (hangars). Les constructions (hangars de la Mairie, bâtiment ''Lapeyre'', bâtiment du Minotier et silos associés) sont menacées par des affaissements/effondrements au droit des aléas chute de voutes sur cavités. Le traitement de ces cavités avec le bâti en place ne parait pas envisageable dans des conditions de sécurité acceptables. La démolition des bâtiments devra précéder le traitement des cavités si cette solution est envisagée.

Bâti (parcelle d'habitation et hangars industriel face au minotier). L'aléa est composé du seul cône d'effondrement que l'on pourrait associer à la chute de voute de la cavité rattachée au puits N. Il n'y a pas de traitement envisageable de ces enjeux face à cet aléa. Cet aléa ne peut être traité que si les conditions de son apparition sont réunies, c'est-à-dire, la chute de la voute de N.

3.6. SUIVI DE SITE

Le puits N représente une inconnue qu'il faut lever avant d'envisager toute évolution du site. Les mouvements sur la dalle goudronnée au toit du puits, l'inclinaison des silos, sont des points qui ont été suivis avec une fréquence hebdomadaire durant l'étude. Des mouvements y ont été observés ces dernières années. Sans permettre de mettre en place un réseau d'alerte, ce suivi est nécessaire en corrélation avec les cycles hydrogéologiques d'étiage et de hautes eaux.

Le risque de ruine et de chute encouru par les silos peut être suivi par l'observation de l'aplomb des silos.

Les désordres en surface, puits S et R, peuvent être également suivi par des prises de mesures sur des points de référence au droit des ouvrages.

Les puits R et S montrent une cavité en eau, celle-ci, en cas d'effondrement de sa voute pourrait dégager un volume d'eau non négligeable dont l'exutoire serait en direction de la voie SNCF à l'est. A l'aune des observations faites en 2014 suite au passage de la lame d'eau éjectée de la cavité effondrée, le passage d'une telle lame d'eau sur les voies de chemin de fer et les installations ferroviaire est susceptible de provoquer des dommages. Pour cette raison, dans le tableau de synthèse de site présenté à la suite, le secteur SNCF est ajouté. La remédiation à cet aléa très spécifique serait à court terme de pomper l'eau de cette cavité ou de la remblayer.

3.7. SYNTHESE SITE

SITE					Batiments communaux, Lapeyre	Avenue des ardoisières	Minotier	Rue Antoine Bourdu
Chapitres du rapport					*Bâtiments communaux-minotier*	*Site de l'avenue des Ardoisière*	*Bâtiments communaux-minotier*	*Bâtiments communaux-minotier*
ALEAS présents sur SITE	fondrement de vou	remplissage des cavités	*Epaisseur du toit de la cavité (nature)*		***en N: 7m, en R et S : 12 et 13.8 m***	***8.10 m (schistes) - 14.5 (remblais et schistes)***	***en N : 7m***	***en N : 7m***
			EAU (m^3)		113	non reconnu	non reconnu	
			AIR (m^3)					
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)		N R S	B1 B1'	N	N
	Tassement Débourrage		*associé aux puits :*		R S		N	
	Cône d'effondrement		*associé aux puits ou cavité de :*		N R S Cavités associées	L1 et L2 B1 et B1' S Cavités associées	N Cavité associée	N Cavité associée
ENJEUX inventoriés	Primaires sur cavité (Enjeux sur site)				Batiments /hangars	Route communale	Batiments /hangars	Route communale
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)				Batiments /hangars		Routes communales (A. Bourdu et Penitents)	
	Secondaires sur cône				Routes communales : A.Bourdu, Penitents, Ave Ardoisières sont concernées		parcelle bâti face au Minotier	parcelle bâti face au Minotier
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	Action proposée par ordre indicatif de priorité			1	Evacuation	Information	Information	Information
				2	*Usages restreints*	Déviation	Evacuation	Déviation
				3		*Limitation tonnage*		
				4				
	Remédiation envisageables, prérequis				Oui	Investigation complementaire (parcelle 1BX0442).	Investigation complementaire et sécurisée sur N	
	Techniques de remédiations				Remblaiement, foisonnement	Déplacement de l'enjeu	Déplacement de l'enjeu, remblaiement.	Déplacement de l'enjeu, remblaiement, filet sous-oeuvre.
	Contrainte traitement eau				OUI	NON	NON	NON
	Interdépendances des sites						Pissotes Sud	
Propriétaire					Commune	Commune	Particulier	Commune

4. Site de l’avenue des Ardoisières

L’enjeu que compose l’avenue des Ardoisières représente un axe important de la circulation autour de la ville d’Allassac (Figure 81). Il s’agit d’une voie alternative à la route principale entre le centre-ville et le secteur du Saillant. Des parcelles comportant des bâtiments industriels (hangars) sont également potentiellement impactées Figure 82.

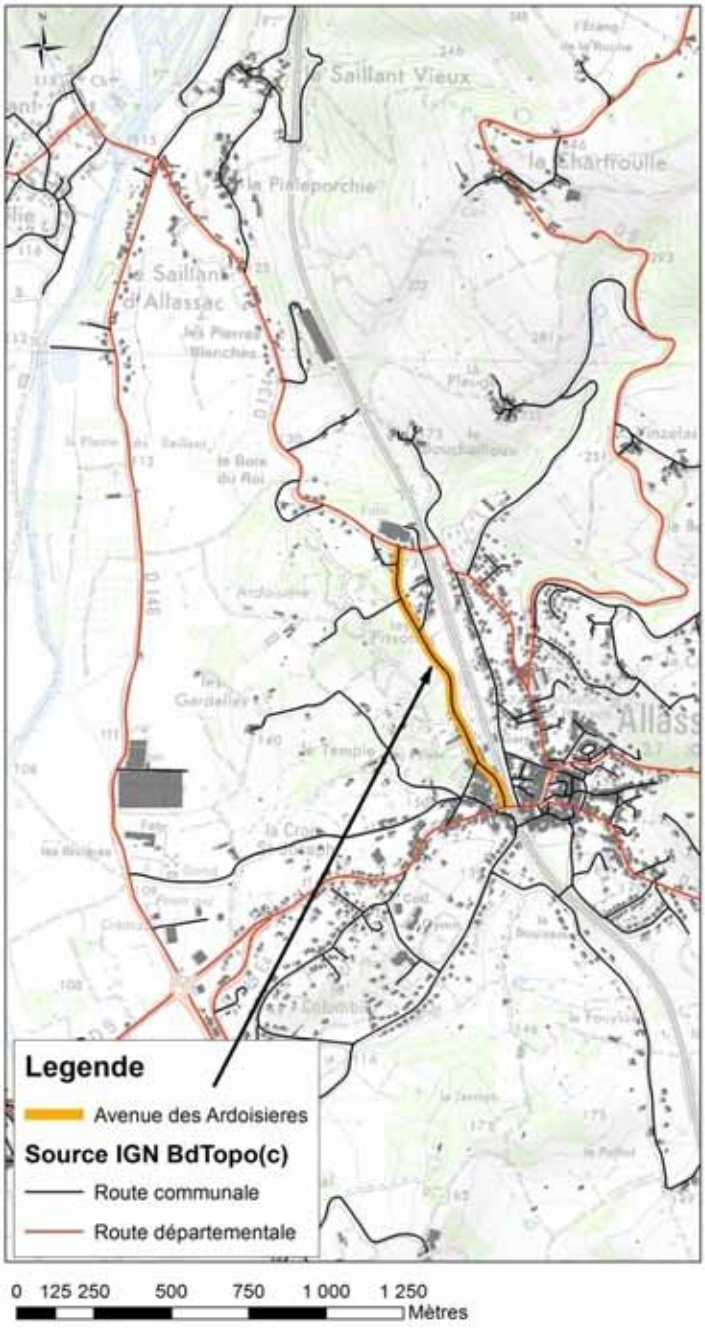


Figure 81 : Site de l'Avenue des Ardoisières.

Figure 82 : Cartographie de l'aléa potentiel secteur de l'avenue des Ardoisières (étude 2014)

Figure 83 : Avenue des Ardoisières, redéfinition de l'aléa en octobre 2015

4.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE :

Le site de l'Avenue des Ardoisières se situe, selon la carte géologique de Tulle, sur la limite Est de la formation ardoisière exploitée. La formation ardoisière au sens large se prolonge toutefois vers l'Est, sous les formations sédimentaires permiennes. Cette limite est peu renseignée en termes de géologie. On constate toutefois qu'il existe sur cette bordure des puits (L1 et L2) d'exploitation situés hors des veines ardoisières identifiées sur des longueurs importantes. On peut supposer que cette partie du gisement bénéficie d'une structuration complexe à structures peu continues, du type plissement de bordure ou zone déformée par un réseau de failles anastomosées. L'hypothèse d'une prospection du gisement vers l'Est, vers la voie ferrée, ne peut être écartée sous cette couverture permienne.

L'épaisseur de la formation sédimentaire permienne qui recouvre la formation schisteuse vers l'Est n'est pas connue. On peut toutefois faire l'hypothèse suivante. La formation permienne est limitée à l'Est par une faille importante qui appartient au faisceau de failles normales qui bordent le bassin permien de Brive. On peut ainsi supposer que l'épaisseur du permien est maximale contre la faille et qu'elle devient nulle au contact cartographique de la formation ardoisière. La figure 84 montre cette géométrie de manière schématique.

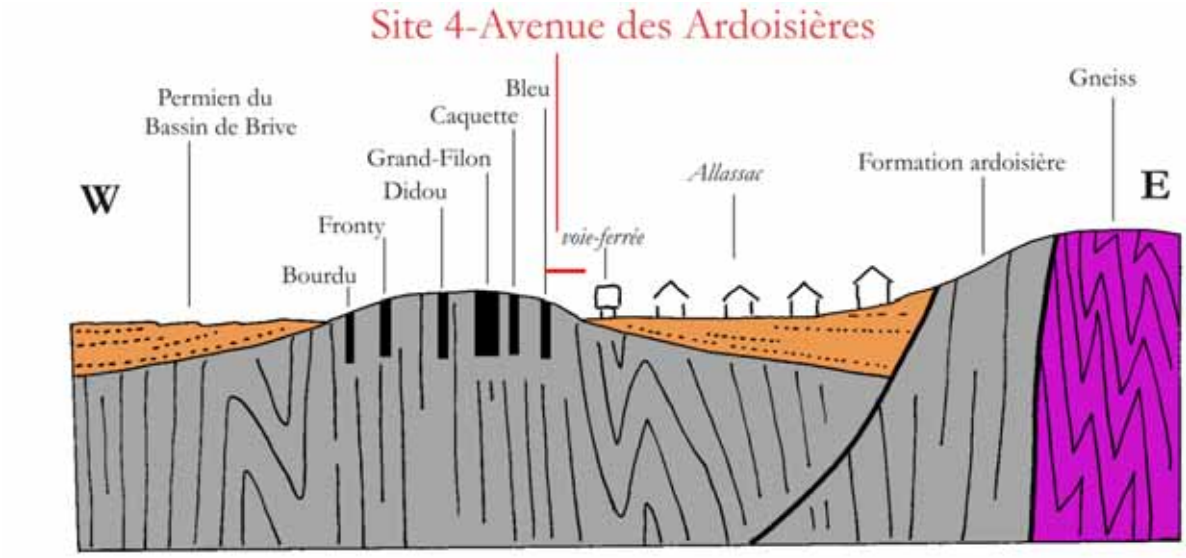


Figure 84 : coupe schématique et interprétation montrant la localisation du site 4 dans le contexte du gisement ardoisier et du bassin permien de Brive.

4.2. ETAT DES CONNAISSANCES

L'avenue des ardoisières compose la frontière historique Est du site d'exploitation du secteur des Pissotes. Elle longe la voie de chemin de fer. Des témoins citent le long de cette voie quelques ''accidents'' pour des animaux tombés dans les puits encore ouverts dans les années 1950/1960. Les puits qui affectent potentiellement l'avenue des ardoisières sont, du nord au sud, les puits L2, L1, B1, B1' et S.

Figure 85 : Puits proches de l'avenue des ardoisières

Contexte historique

Les puits L2 et L1 ont été décrit pour l'étude du site 1

- ***Puits B1, dits 'Rababdan'.***

Le puits B1 est connu dès les photo-aériennes de 1949 et porté sans les documents anciens. Très clairement observé sur les photos aériennes jusqu'en 1965, Il est comblé en 1970.

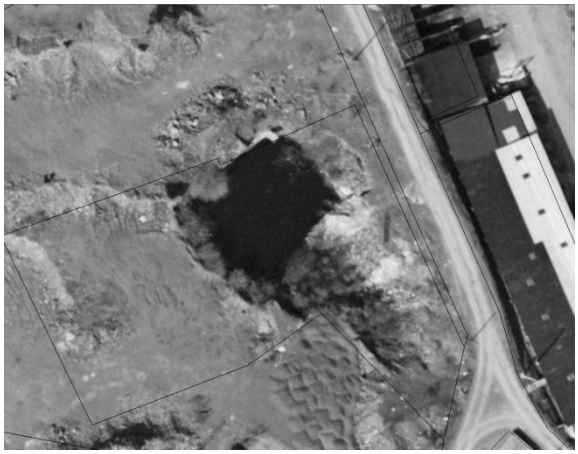


Figure 86 : Puits B1 en 1963

Figure 87 : B1 en 1970

En 1980 un bâtiment est bâti en partie sur ce puits.

Figure 88 : Puits B1 en 1985, comblé et occupé par un hangar

Figure 89 : B1 en 2012

Une visite de terrain en juillet 2015 montre, sur la dalle qui supporte le bâtiment au droit du puits B1, une importante fracture associée, en toute probabilité, à un tassement du puits B1 sous la dalle en béton (Figure 90).

Figure 90 : fracture dalle B1

- ***Puits B1'***

Le puits B1' va apparaitre à la suite de la campagne de µgravimétrie. Il est notifié par une annotation sur un plan ancien sans que la source de cette information soit renseignée.

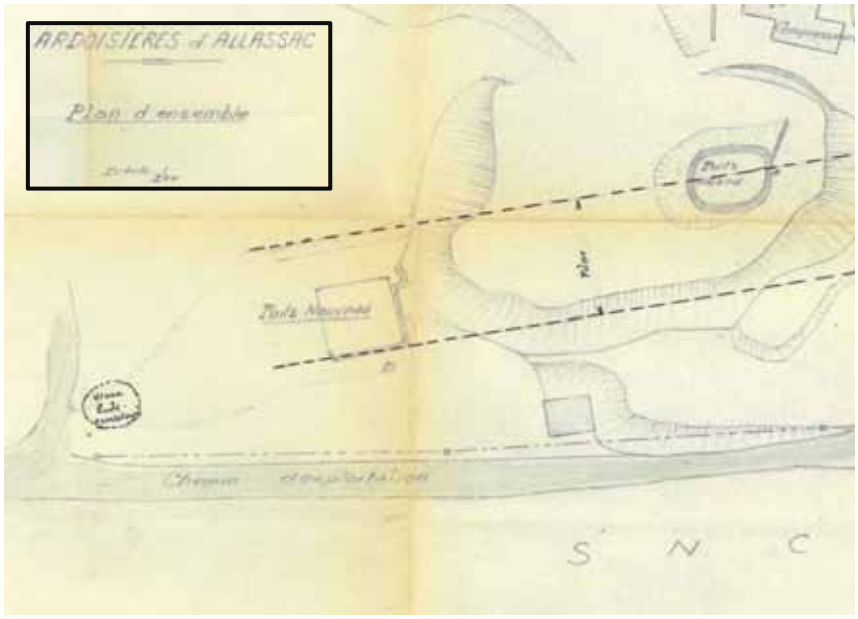


Figure 92 : Plan ancien et photo aérienne de 1949

En 1949, date de la première photo aérienne disponible sur le site du Geoportail IGN, ce puits est déjà comblé (Figure 92). Ce puits va présenter des signes de tassement lors des travaux de sondage de reconnaissance de l'anomalie gravimétrique mesurée sur ce secteur. La présence de creux, de flaques d'eau au droit de cet ouvrage B1' est visible en 2010 sans qu'il n'ait été jusqu'alors mentionnés de désordres remarquables sur ce puits.

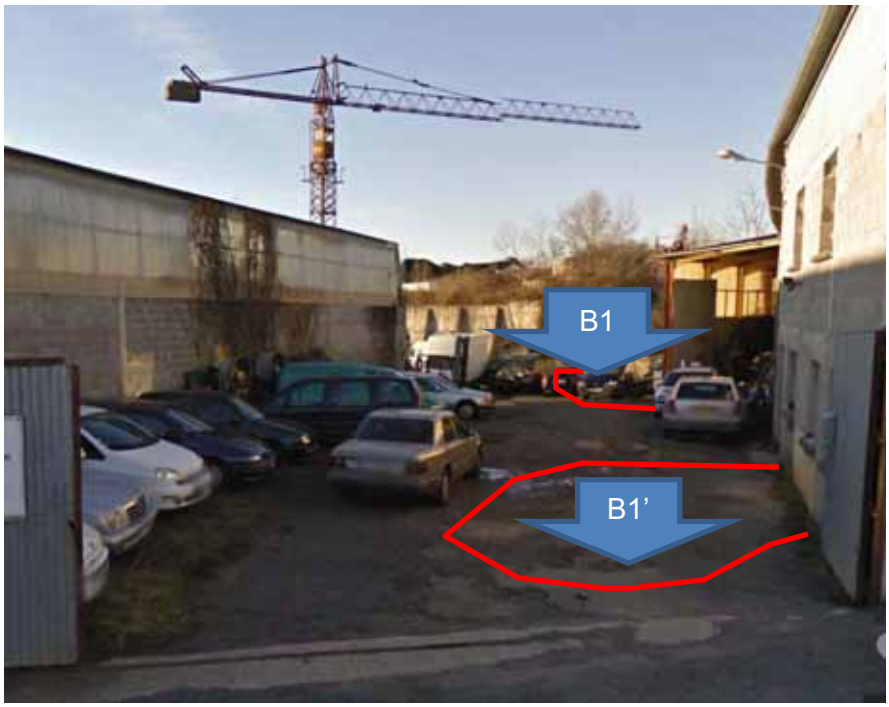


Figure 93 : Vue sur emplacement B1' en 2010 (sources Street View dec 2010)

Désordres observés au sondage S4

Les travaux de sondages réalisés en juin 2015 (S4) sur la parcelle vont coïncider avec un phénomène de tassement de B1'. L'été 2015 présente un déficit en pluviométrie exceptionnel avec un étiage sévère des nappes souterraines. Le sondage a été effectué à une dizaine de mètres du point max de l'anomalie gravimétrique mais il est probable que des matériaux de remblais d'une cavité souterraine aient été mis en mouvement provoquant un tassement au droit du puits B1' qui se poursuit depuis lors (septembre 2015).

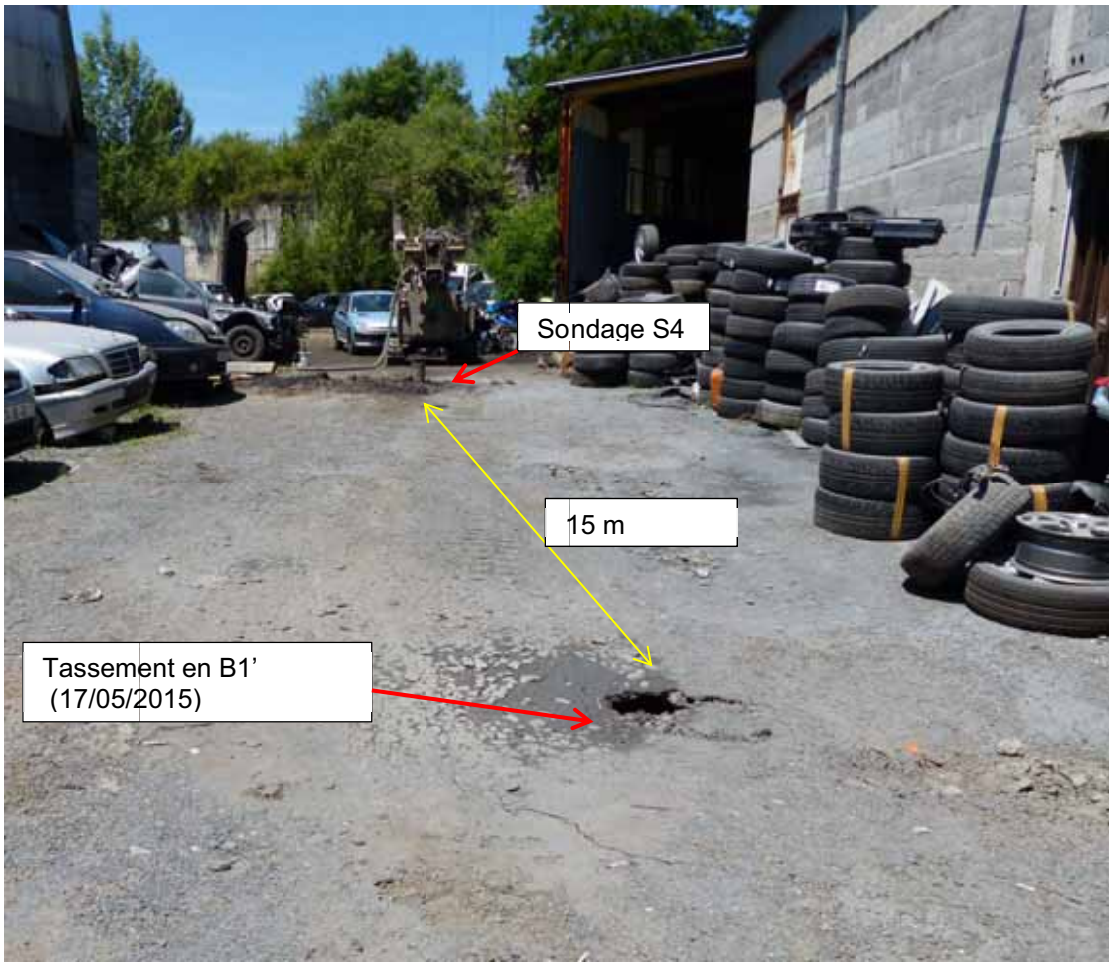


Figure 94 : Réalisation du sondage S4 entre B1(au fond) et B1'(premier plan)

Le sondage S4 a rencontré une cavité souterraine qui peut lier les puits B1 et B1'. Le schéma suivant propose une relation potentielle entre ces deux ouvrages.

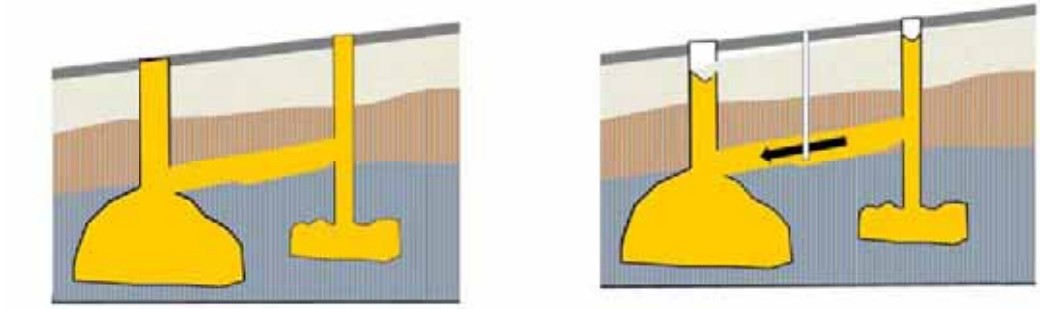


Figure 95 : Hypothèse de liaison de B1 et B1'et de mouvement des remblais

- ***Puits S***

Le puits S est situé sous les hangars de la mairie. Il n'est observable que sur les photos aériennes de 1949 à 1959. Très tôt, en 1963 il est remblayé.

Figure 96 : Puits ouvert en 1949

Figure 97 : Puits S comblé en 1963

Figure 98 : Puits S, hangars batis en 1965

Le puits S se manifeste, en surface, par une fissuration de la dalle béton qui en recouvre l'emprise depuis 1965.

A l'identique du puits B1, Il s'agit pour le puits S d'ouvrages en relation probable avec une chambre d'exploitation souterraine, elle sera mise en évidence par les sondages d'investigation. Ces puits, dont le remblaiement est probablement fait de matériaux fluant surtout lorsqu'ils sont saturés d'eau, et qui sont en communication avec des chambres souterraines d'exploitation qui possèdent en toute probabilité des toits horizontaux. Ces toits ne permettent pas un remplissage latéral complet (phénomène de talus naturel).

Ces conditions de remblayage composent un aléa non négligeable identifié dans l'étude 2014 et il a été observé sur le puits S des manifestations de désordres. En l'état des investigations, il

n'est pas possible d'attribuer ces désordres à un simple tassement ou un processus de débourrage.

A l'exception de L2, puits ouvert et jamais remblayé, tous les puits situés à proximité de l'avenue des ardoisières ont présentés des phénomènes de tassement ou de débourrage depuis 1950. Ils sont donc en relation soit avec des remblais instables et non compactés soit, ou en sus, avec des cavités souterraines mises en évidence par la micro gravimétrie.

Ces phénomènes sont continus en 2015 pour le puits L1. Actifs en 2015 également pour B1'. Probables mais masqués par la présence de dalles de béton pour S et B1

4.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DE L'AVENUE DES ARDOISIERES

Campagne de géophysique

Une campagne microgravimétrique a été réalisée afin d'identifier la présence d'un l'aléa éventuel lié aux puits identifiés à proximité de l'avenue. La majeure partie des points de mesure ont été effectués depuis la route.
Plusieurs zones d'anomalie ont été observées à proximité ou au droit de l'avenue des ardoisières, du nord au sud.

- L'anomalie A1, bilobée, est à mettre en relation avec les puits B3 et L1. Elle atteint -0,09 mGal proche du puits B3 et 0,06 mGal proche du puits L1.
- L'anomalie A2 (secteur Rabadan) est peu circonscrite, du fait d'une couverture des stations lacunaire. Elle présente des valeurs importantes inférieures à -0,1 mGal.
- L'anomalie A3 est bien circonscrite et bilobée, et atteint -0,09 mGal. Cette anomalie est possiblement à relié aux puits R et S (puits des hangars de la mairie).

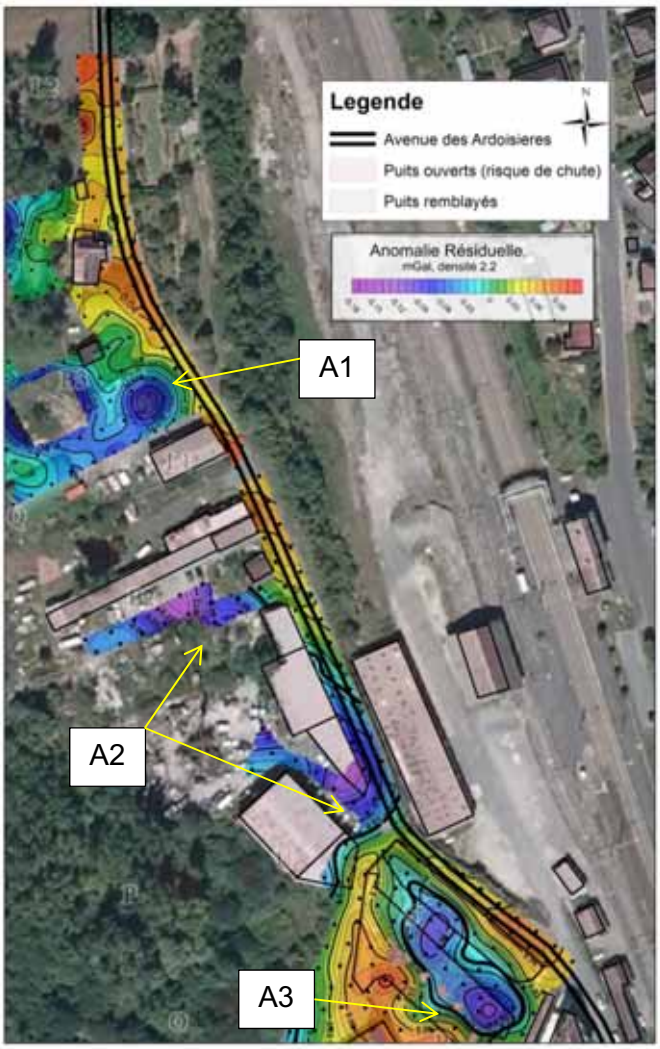


Figure 99 : Anomalies sur l'avenue des ardoisières)

Seule l'anomalie A2 impacte la route des ardoisières pour sa partie associée au puits B1'

Réalisation de sondages.

6 sondages participent à la définition des zones d'aléas de l'avenue des Ardoisières. Le sondage Sc2 a été réalisé en février 2014, les autres entre juin et août 2015.

Trois sondages ont rencontré des cavités, S4 (§ 0), S5 et S6.

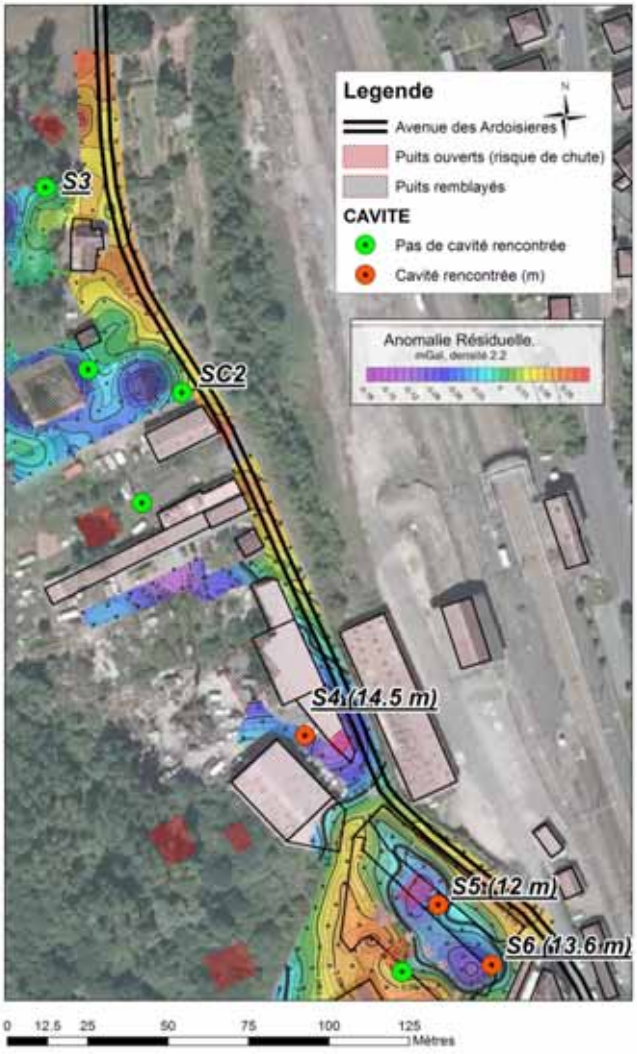


Figure 100 : Sondages de l'Avenue des Ardoisières

Dimensionnement des cavités

La cavité rencontrée par les sondages S5 et S6 est décrite dans le cadre du site n°2 (bâtiments communaux, $ 3). Elle n'impacte pas l'avenue des ardoisières ni par l'aléa d'effondrement de voute ni par un aléa de glissements de terrains lié à une recherche de profil d'équilibre à la suite d'un éventuel effondrement de voute.

La cavité rencontrée lors du sondage S4 n'a pas permis de reconnaitre un volume de vide investigable. En revanche, les remblais ennoyés se sont avérés meubles et ont provoqués des désordres en surface (§ 0, puits B1')

4.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE L'AVENUE DES ARDOISIERES

Selon le logigramme d'interprétation des sites d'exploitation, le site sous la route et les bâtiments autour de B1 et B1' présente la typologie suivante : B, C (puits ou cavité en partie remblayé). Les têtes de puits B1' sont, en toute probabilité, partiellement sous les bâtiments immédiatement en bordure de l'avenue.

Les évolutions potentielles (1, 2, 3) de ce site sont, par la présence de vide :

1 - Un tassement ou débourrage des puits (le tassement est en cours en 2015 sur B1', des désordres sont constaté sur B1)

2 – Un effondrement total ou partiel d'une voute en relation avec une cavité associée au puits B1' et B1

Ces mouvements peuvent alors entrainer la mise en place de profils d'équilibre impactant l'avenue des ardoisières et une partie de la rue des pénitents (i, j, k).

Intensité des phénomènes redoutés

Les puits remblayés (dès 1949 B1' ou 1970 B1) forment des ouvrages en relation probable avec au moins une chambre d'exploitation souterraine dont le remblaiement est fait de matériaux fluant (la présence d'eau est confirmée en S4). Ils sont en communication avec des chambres souterraines d'exploitation (anomalie A2). Ces puits sont en cours de tassement en 2015.

En l'absence de dimensionnement de la cavité (B1 ou B1'), la chute de voûte est à un niveau d'intensité élevé (extension sup. 80m² pour B1) à très élevé (effondrement simultané des deux cavités) sur l'avenue des Ardoisières. Ce type de cavités possède en toute probabilité un toit horizontal qui ne permet pas un remplissage latéral complet (phénomène de talus naturel).

Le niveau d'intensité pour l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre est élevé dans la zone de l'anomalie A2 (phénomènes en cours en 2015)

Prédisposition aux phénomènes redoutés

La présence de matériaux fluant dans les remblais de la cavité et les mouvements observés en 2015 permettent de retenir une prédisposition sensible aux mouvements de terrains. En termes de probabilité d'occurrence de l'effondrement de la voute sur ce secteur de l'anomalie A2, il n'y a pas de série historique permettant d'élaborer une gamme de période[14] en revanche la prédisposition est très sensible au regard de l'épaisseur supposée des terrains de recouvrement (< 15 mètres).

[14] A 10 ans la rupture est peu probable, en revanche à 100 ans elle est probable. Le site des ardoisières d'Allassac (secteur Pissote) a connu 3 évènements sûrs d'effondrement de voute, en 1902, 2011 et 2014. En 2015 des signes d'effondrements de voute se manifestent en B3.

En termes de probabilité d'occurrence du tassement des puits B1 ou B1', une série historique peut être appréhendée en considérant un tassement de B1 (déduit des désordres de la dalle du bâtiment sis au-dessus) entre 1970 et 2015, donc une probabilité d'occurrence inférieure à 50 ans. Pour B1', des signes de tassements en 2010 (flaques d'eau) donne une probabilité d'occurrence de 100 ans sur le phénomène de tassement, en revanche les tassements en 2015 donnent une prédisposition très sensible.

La mise en place de cônes liés à la recherche de profil d'équilibre compose une prédisposition directement liée à la prédisposition des autres phénomènes. On retient donc une prédisposition sensible en lien avec les chutes de voute, et sensible à très sensible en lien avec les tassements et débourrage des puits.

Evaluation des aléas sur le site de l'avenue des Ardoisières

Les tableaux ci-dessous présentent les matrices de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site de l'avenue des Ardoisières.

	Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité	***Tassement débourrage***			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	***Effondrement de voûte***			
Elevé	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA FORT**	ALEA TRES FORT
Très Élevée	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA TRES FORT**	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	***Cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	**ALEA FORT**
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA FORT**

Figure 101 : Tableau d'analyse de l'aléa - Avenue des Ardoisières

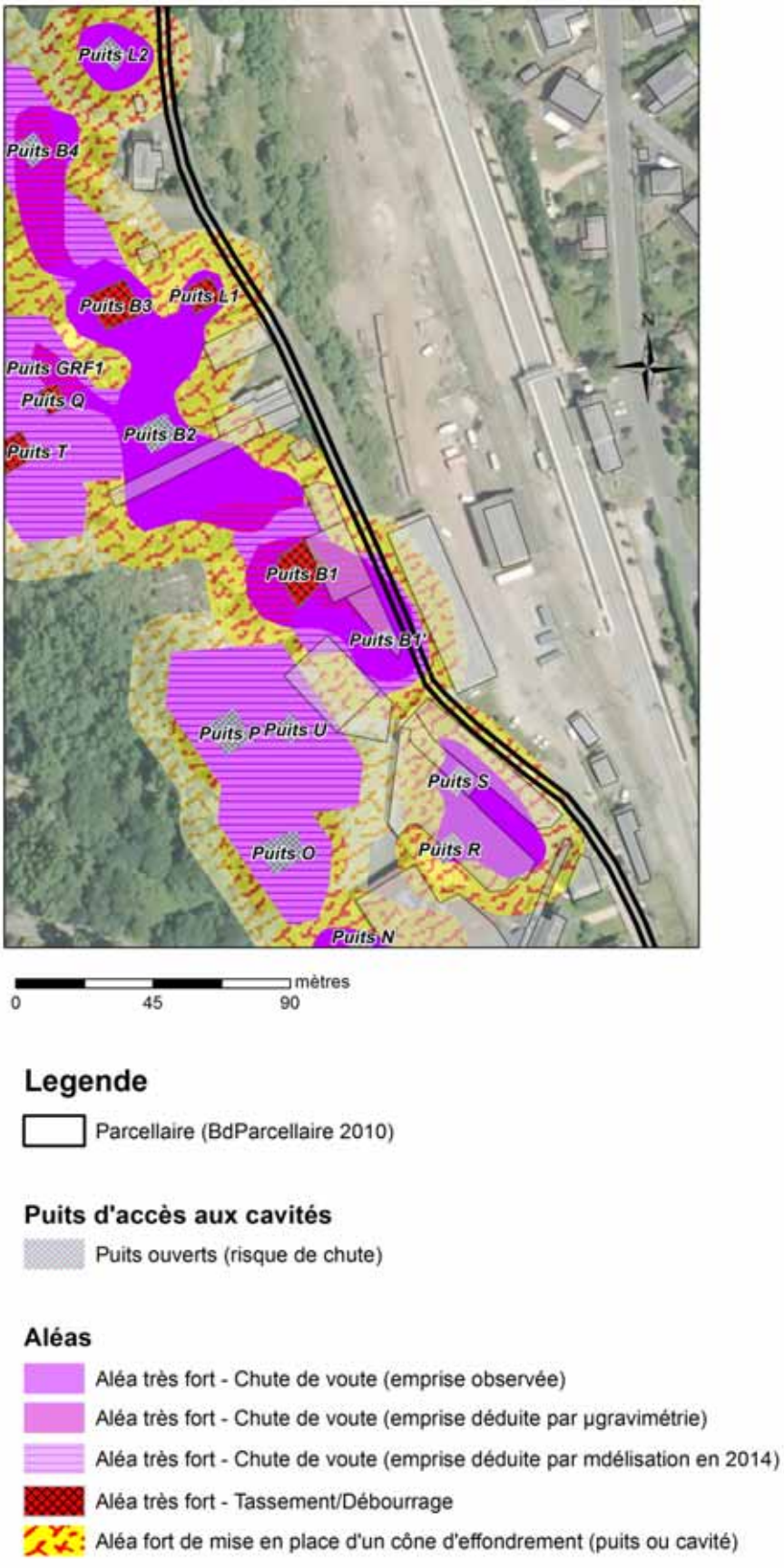


Figure 102 : Carte des niveaux d'aléas secteur avenue des ardoisières

Les aléas Tassement débourrage, chute de voûte et cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sont donc tous retenus avec **un niveau fort à très fort.**

L'avenue des Ardoisières est exposés à deux natures d'aléas (chute de voute et cône d'effondrement). La chute de voute est localisée à proximité de la parcelle Rabadan à proximité du croisement avec la rue des pénitents. L'aléa cône d'effondrement est associé à chacun des puits ou cavités proches.

La rue des pénitents à son croisement avec l'avenue des Ardoisières est exposée à l'aléa d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sur une hypothèse d'une pente d'équilibre à 100 %. Les bâtiments de la parcelle Rabadan sont exposés à ces deux aléas.

Risques identifiés

Du fait de la présence d'une route à forte fréquentation *(à confirmer par des données quantifiées)* dans la zone d'aléa, le risque mouvement de terrain est élevé.

Une diminution de l'aléa ou des enjeux diminueraient ce risque. Elle doit être précédée d'une reconnaissance du site avant travaux avec la mise en sécurité des personnes et des biens dès lors que la parcelle sera effectivement évacuée. Les mouvements de terrains constatés au moment de la réalisation du sondage S4 ont démontrés l'instabilité forte du site. La dalle fissurée au droit de B1 masque un vide probable. Les conditions d'investigation seront à adapter à ce contexte de risque élevé

4.5. REMEDIATION POSSIBLE

Mise en sécurité immédiate

L'avenue des ardoisières est soumise à un risque élevée au voisinage du bâtiment Rabadan (parcelle 1BX0324) et des puits B1 et B1' et cavités associées. L'avenue peut être déviée.

Traitement de l'aléa

En l'absence de données précises sur l'extension de la ou des cavités associées à B1 et B1' aucun traitement de l'aléa est envisageable. Les aléas pour lesquels le risque sur les personnes ou véhicules est moindre (cône d'effondrement) n'ont pas de remédiation avant leur éventuelle mise en place.

Traitement des enjeux

Au regard du risque d'affaissement lié à la mise en place d'un cône de profil d'équilibre des remblais aux abords de puits, une remédiation est possible pour protéger les constructions menacées par ces affaissements. Il est en effet possible de renforcer la structure de l'ouvrage routier avec des matériaux résistants aux déformations (pose de filet en sous-face) mais, ce type de dispositif n'est mis en place que lorsque les mouvements attendus en surface demeurent faibles.

Si une cavité (B1et B1') s'étend effectivement sous la route, ce qui n'a pas pu être confirmée en raison des désordres observés et des risques immédiats encourus par la mise en place de

sondage (§0), la remédiation par pontage pourrait être envisagée mais elle peut apparaître non pertinente au regard de la longueur potentiellement affectée de la route.

Reste la solution d'un déplacement de l'enjeu, en l'occurrence un détournement local de l'avenue des ardoisières pour 'effacer' la zone à risque. Cela reviendrait à un déplacement de l'axe routier depuis la voie d'accès aux bâtiments communaux situé en contrebas de la route, sur les terrains communaux en bordure de la voie ferré et un raccord à l'avenue des ardoisières au-delà de la parcelle Rabadan.

Ce déplacement de l'enjeu 'avenue des ardoisière' aurait un impact sur l'enjeu représenté par la rue des Pénitents qui deviendrait une impasse.

4.6. SUIVI DE SITE

Avant un éventuel déplacement des enjeux ou remédiation du site, les désordres du puits B1' qui ont justifié l'évacuation du bâtiment et de la parcelle (arrêté municipal) devraient être suivis pour les risques de ruines immédiat qu'ils font courir au bâti.

De même la fissure sur la dalle béton qui couvre B1 devra être suivie car elle semble, d'après témoins, avoir évoluée lentement depuis 2011.

4.7. SYNTHESE SITE

SITE				Avenue des ardoisières
			Chapitres du rapport	*Site de l'avenue des Ardoisière*
ALEAS présents sur SITE	fondrement de vou	remplissage des cavités	*Epaisseur du toit de la cavité (nature)*	***8.10 m (schistes) - 14.5 (remblais et schistes)***
			EAU (m^3)	**non reconnu**
			AIR (m^3)	
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)	**B1** **B1'**
	Tassement Débourrage	***associé aux puits :***		
	Cône d'effondrement	***associé aux puits ou cavité de :***		**L1 et L2** **B1 et B1'** **S** **Cavités associées**
ENJEUX inventoriés	**Primaires sur cavité (Enjeux sur site)**			Route communale
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)			
	Secondaires sur cône			
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	**Action proposée par ordre indicatif de priorité**			**Information** **Déviation** *Limitation tonnage*
	Remédiation envisageables, prérequis			Investigation complementaire (parcelle 1BX0442).
	Techniques de remédiations			Déplacement de l'enjeu
	Contrainte traitement eau			NON
	Interdépendances des sites			
Propriétaire				**Commune**

5. Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents

La rue des pénitents, dans sa partie soumise à l'aléa mouvement de terrain défini en 2014 permet de rejoindre l'Avenue des Ardoisières et la rue Antoine Bourdu (Figure 103). Elle est en contexte urbain et traverse l'extrémité sud du territoire des anciennes ardoisières. L'état des connaissances de l'aléa en 2014 est illustré au chapitre 4

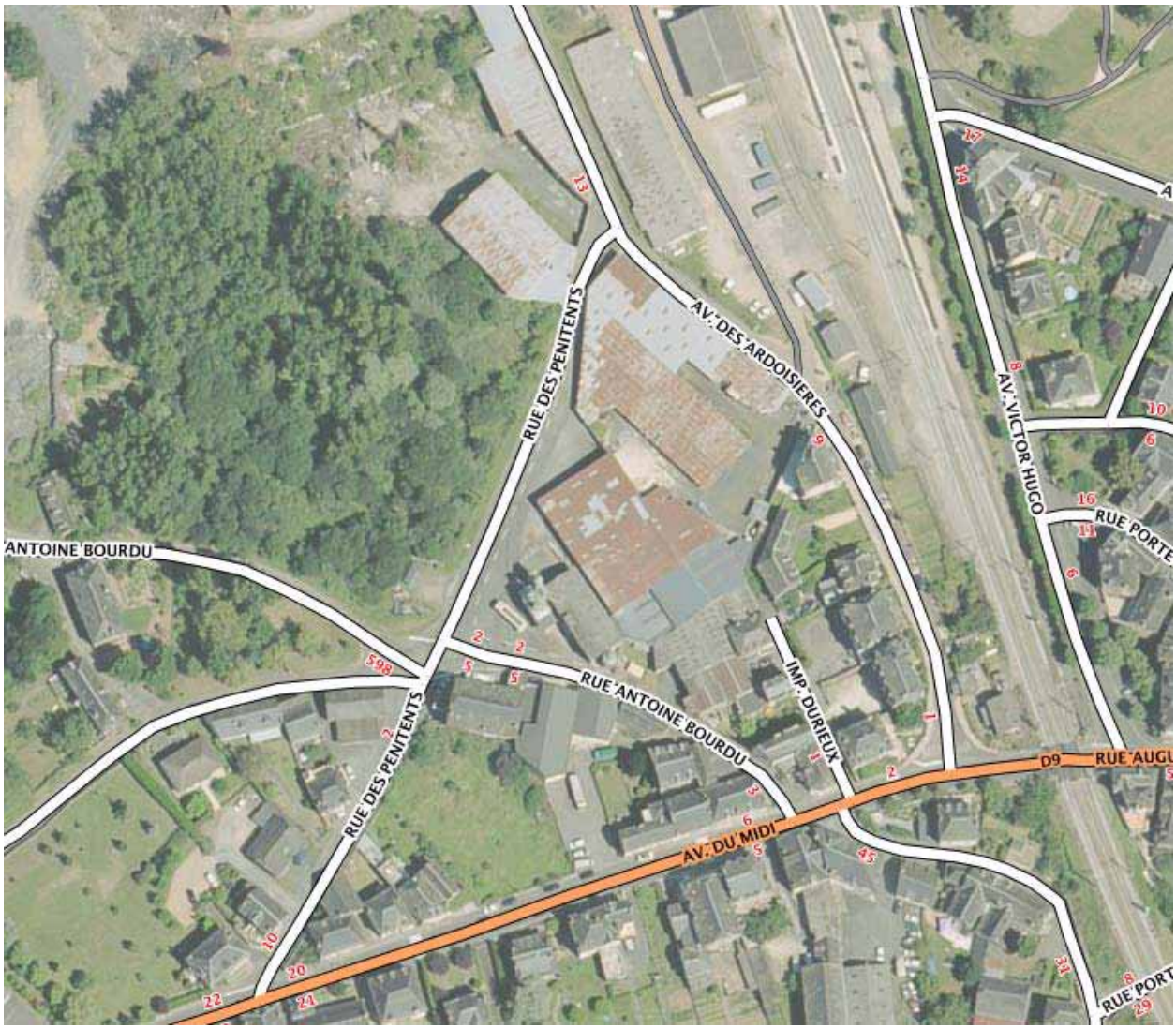


Figure 103 : Localisation de la rue des pénitents

5.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le site de la rue des Pénitents se situe dans l'extrémité sud du gisement ardoisier (Figure 104), près du lieu où la série schisteuse s'ennoie sous les grès du Permien.

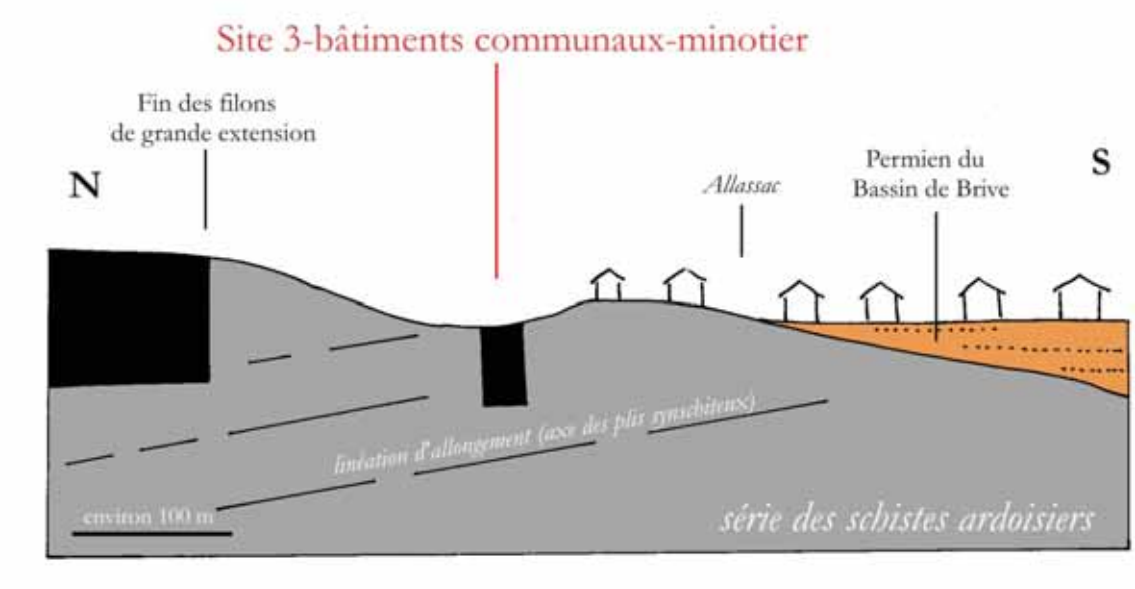


Figure 104 : localisation du site de la rue des Pénitents sur une coupe N-S interprétative, parallèle à la linéation d'allongement du site ardoisier.

Selon la carte géologique de Tulle, N° 761, la formation ardoisière d'Allassac se prolonge sous les formations permiennes du bassin de Brive. Un niveau de schiste graphiteux, situé au cœur de la zone exploitée pourrait correspondre à un axe de pli d'ordre 1. Cette géométrie très simple n'est pas visible sur le terrain et constitue une simple hypothèse. La réalité est probablement plus complexe. On peut envisager d'autres hypothèses comme l'interruption brutale du gisement par une faille qui recoupe l'ensemble des veines ardoisières, ou un morcellement en divers blocs structuraux dans un couloir constitué par diverses failles.

La rue des pénitents est située entre l'emprise de la parcelle dite Rabadan (1BX0324) et la parcelle des bâtiments communaux et du Minotier.

Plusieurs sondages ont été réalisés dans et autour de ce site S4 (parcelle Rabadan), S5, S6, S7 et S8 (bâtiments des hangars municipaux), réalisés sur ce site montrent quelques zones à vitesse d'avancement rapide qui peuvent correspondre à des zones de fractures ou de failles importantes.

- Notons en particulier sur le sondage S5 une importante zone à avancement rapide entre 5,50 et 6,00 m. Si, par simple hypothèse, l'alignement des puits dits du filon Bleu (B1 à B9) représente la direction générale de ce filon, le puits S dans l'alignement de cet objet géologique devrait être nomenclaturé en B0. Dans ce cas le toit supposé de la cavité recherché peut être du type de ceux mis en évidence sur la Figure 28 : Schistes altérés du filon bleu (vestiges du puits B5 et B6) Carriere Bugeat

Enfin plus au sud :

- le sondage S9 (réalisé en bordure de la rue, dans la parcelle cadastrale n° 418) face aux silos du minotier montre plus particulièrement une zone de schiste altéré sur les 5 premiers mètres, puis une zone de schistes compacts jusqu'à la fin du sondage à 30 m sans faille importante.
- Le sondage S14, montre également une zone altérée près de la surface, jusqu'à une profondeur de 10 m. Il ne se situe pas sur le passage d'une faille importante.

5.2. ETAT DES CONNAISSANCES

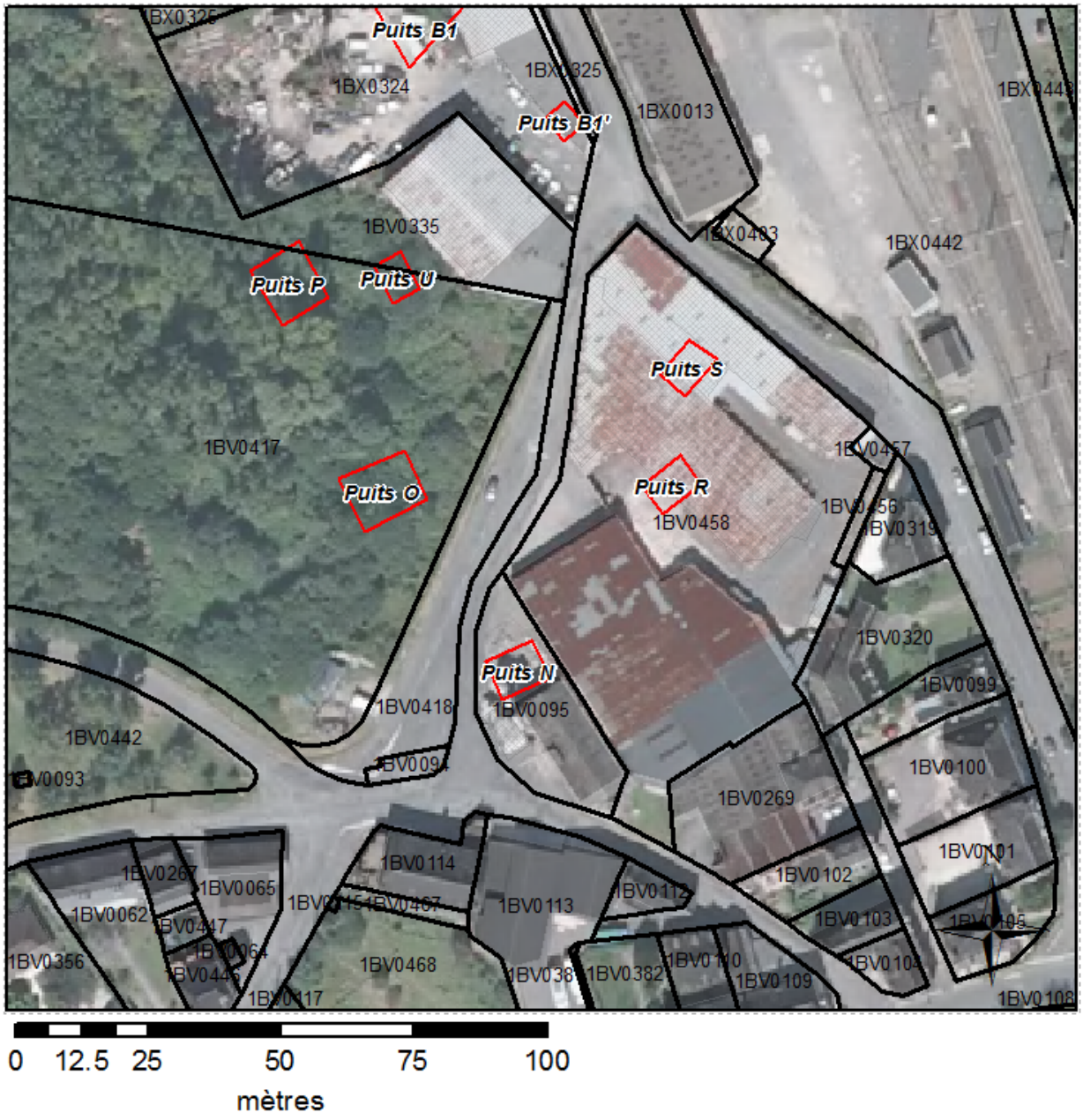


Figure 105 : Puits proches de la rue des Pénitents

Contexte historique

Les puits B1 et B1' ont été décrits dans l'étude du site de l'Avenue des Ardoisières ainsi que le puits S

Ces puits (B1 et S) se manifestent en surface, par la fissuration de dalles béton qui en recouvrent l'emprise. Il s'agit d'ouvrages en relation probable avec des chambres d'exploitation souterraine. Ces puits ont un remblaiement fait de matériaux fluant surtout lorsqu'ils sont saturés d'eau. Ils sont/seraient en communication avec des chambres souterraines d'exploitation qui possèdent en toute probabilité des toits horizontaux. Ces toits ne permettent pas un remplissage latéral complet (phénomène de talus naturel).

Ces conditions de remblayage composent un aléa non négligeable identifié dans l'étude 2014. En 2014 la Parcelle dite Rabadan était considérée comme à risque élevé et devant être évacuée pour la mise en sécurité des biens et des personnes. Depuis il a été observé sur le puits B1 des manifestations de désordres (Figure 90) avec fissuration de la dalle béton. A l'identique du puits S, en l'état des investigations, il n'est pas possible d'attribuer ces désordres à un simple tassement ou un processus de débourrage.

Le puits N, dit du minotier est décrit dans l'étude du site dit « Bâtiments Communaux-minotier » (§ 3.2)

A l'exception de O, puits ouvert mais non observé (accessibilité impossible, parcelles privées), tous les puits situés à proximité de la rue des pénitents ont présentés des phénomènes de tassement ou de débourrage depuis 1950. Ils sont donc en relation soit avec des remblais instables et non compactés soit, ou en sus, avec des cavités souterraines mises en évidence par la micro gravimétrie.

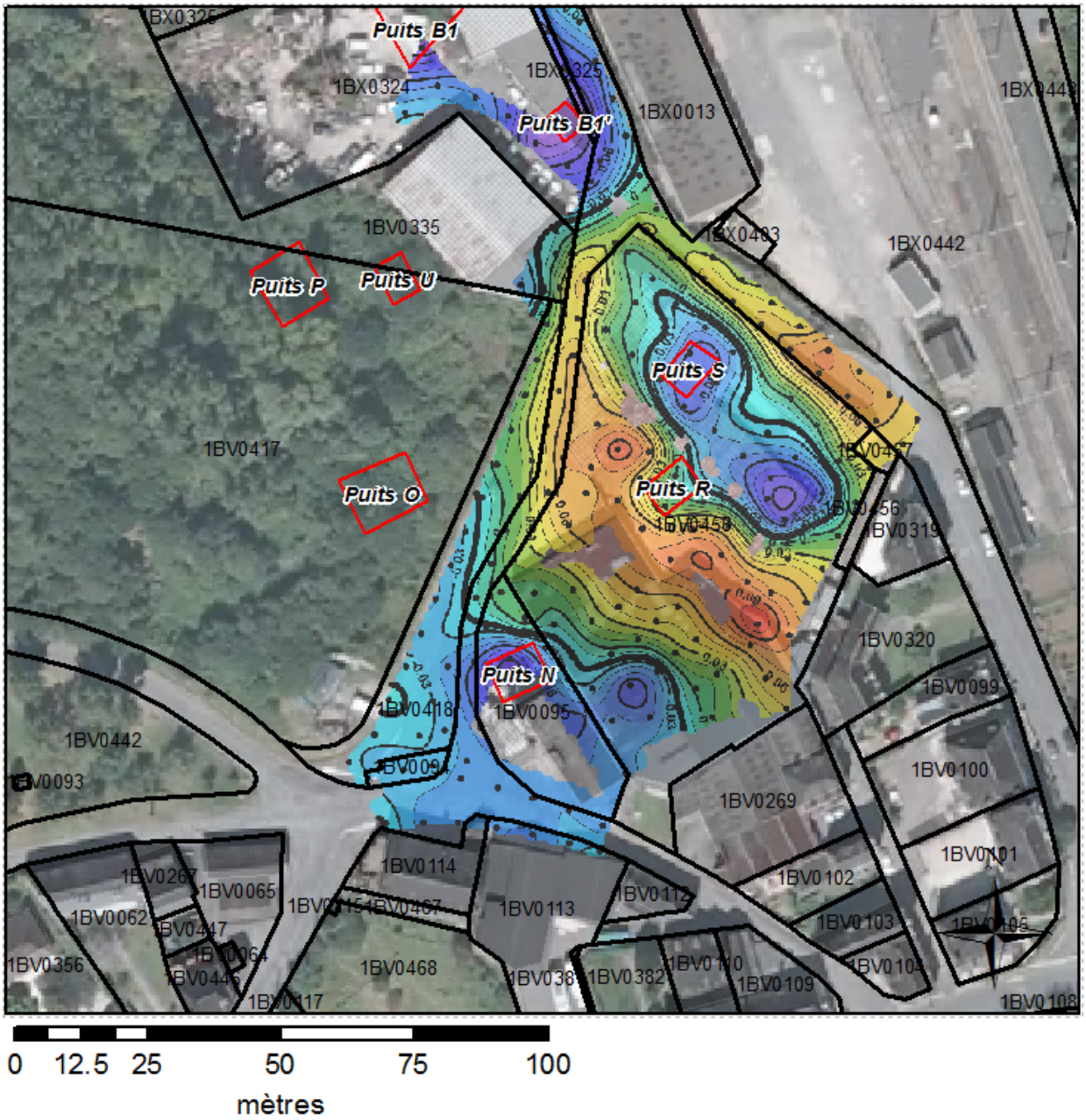
Ces phénomènes sont continus pour le puits N. Actifs en 2015 également pour B1'. Probables mais masqués par la présence de dalles de béton pour S, R et B1

Il n'y a pas de puits sur l'emprise géographique de la rue des Pénitents

5.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DE LA RUE DES PENITENTS

Campagne de géophysique

Une campagne microgravimétrique a été réalisée afin d'identifier la présence d'un aléa éventuel lié aux puits identifiés à proximité de la rue.



Plusieurs zones d'anomalie ont été observées à proximité de la rue des pénitents, elles ont été décrites dans les chapitres 0 et 0.

La rue des Pénitents présente des anomalies à son croisement avec la rue Antoine Bourdu (au sud) et son départ de la rue des Ardoisière (au nord)

Réalisation de sondages.

5 sondages participent à la définition des zones d'aléas de la rue : S4, S5, S7, S9 et S14.

Seuls S4 et S5, au nord et hors emprise de la rue ont rencontré des cavités.

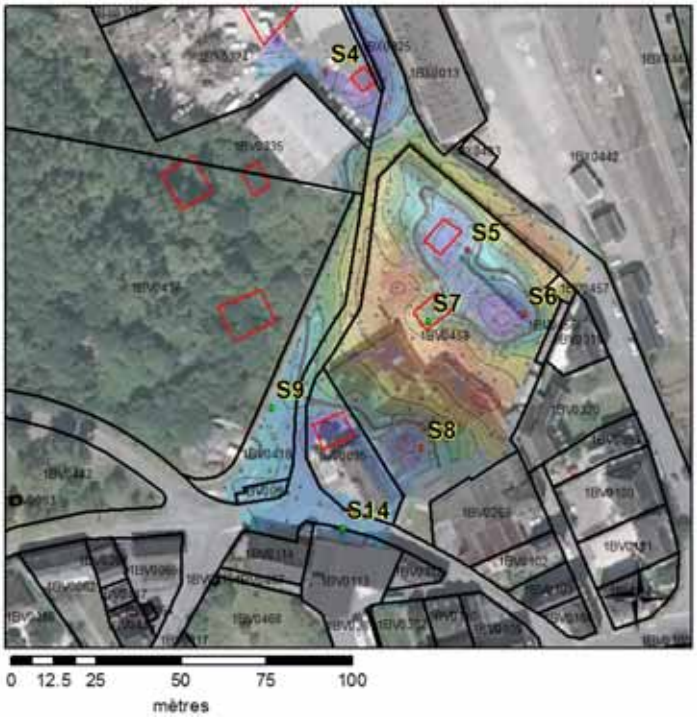


Figure 106 : Sondages de la rue des Pénitents

Dimensionnement des cavités

La cavité rencontrée par le sondage S5 est décrite dans le cadre du site n°2 (bâtiments communaux, § 0). Elle n'impacte pas la rue des pénitents ni par l'aléa d'effondrement de voute ni par un aléa de glissements de terrains lié à une recherche de profil d'équilibre à la suite d'un éventuel effondrement de voute.

La cavité rencontrée lors du sondage S4 n'a pas permis de reconnaitre un volume de vide investigable. En revanche, les remblais ennoyés se sont avérés meubles et ont provoqués des désordres en surface (§ 0, puits B1')

5.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE LA RUE DES PENITENTS

Selon le logigramme d'interprétation des sites d'exploitation, le site de la rue des Pénitents présente la typologie suivante : C (puits ou cavité en partie remblayé). Il n'y a pas de puits sous l'emprise de la rue en l'état des données acquises.

Les évolutions potentielles (2) de ce site sont, par la présence de vide :

1 - Un effondrement total ou partiel d'une voute en relation avec une cavité associée au puits B1' ou N

Ces mouvements peuvent alors entrainer la mise en place de profils d'équilibre impactant l'avenue des ardoisières et une partie de la rue des pénitents (i, j, k).

Intensité des phénomènes redoutés

Les puits remblayés (dès 1949 B1' ou 1970 B1) forment des ouvrages en relation probable avec au moins une chambre d'exploitation souterraine dont le remblaiement est fait de matériaux fluant (la présence d'eau est confirmée en S4). Ils sont en communication avec des chambres souterraines d'exploitation (anomalie A2). Des phénomènes de tassement ont été observés pour ces deux puits en 2015.

En l'absence de dimensionnement de la cavité (B1 ou B1'), la chute de voûte est à un niveau d'intensité très élevé (extension supérieure à 80m² et effondrement simultané redouté) sur la partie nord de la rue des Pénitents. Ce type de cavités possède en toute probabilité un toit horizontal qui ne permet pas un remplissage latéral complet (phénomène de talus naturel).

Pour la rue des Pénitents, le niveau d'intensité pour l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre est élevé, il découle de l'intensité des phénomènes redoutés sur la parcelle voisine où sont présents B1 et B1'.

Prédisposition aux phénomènes redoutés

Il n'y a pas de puits sur l'emprise géographique de la rue des Pénitents, le phénomène de tassement débourrage n'est pas envisagé sur la rue.

En termes de probabilité d'occurrence du tassement des puits B1 ou B1', une série historique peut être appréhendée en considérant un tassement de B1 (déduit des désordres de la dalle du bâtiment sis au-dessus) entre 1970 et 2015, donc une probabilité d'occurrence inférieure à 50 ans. Pour B1', des signes de tassements en 2010 (flaques d'eau) et les tassements de 2015 donnent une prédisposition très sensible.

La présence de matériaux fluant dans les remblais de cavité et les mouvements observés en 2015 (B1') ou antérieurs (N) permettent de retenir une prédisposition sensible aux mouvements de terrains. En termes de probabilité d'occurrence de l'effondrement de la voute sur ce secteur, il n'y a pas de série historique permettant d'élaborer une gamme de période en revanche la prédisposition est très sensible au regard de l'épaisseur supposée des terrains de recouvrement.

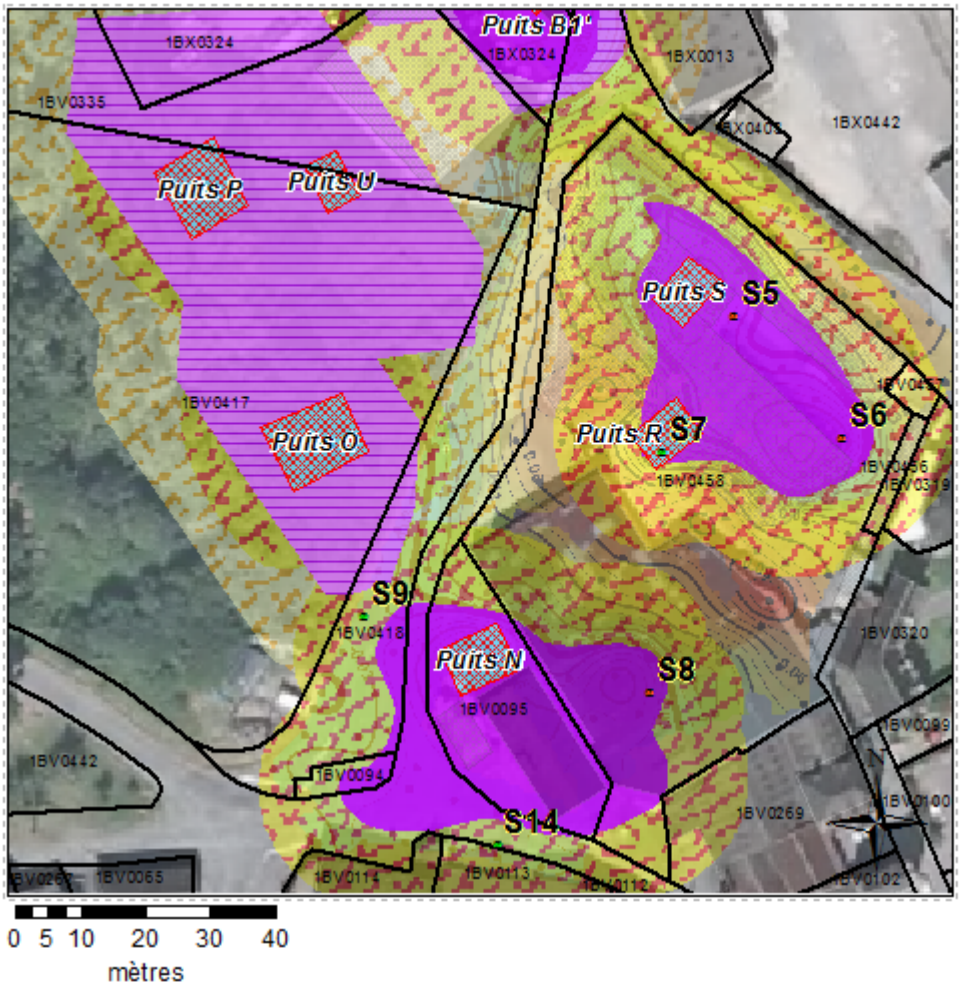
La mise en place de cônes liés à la recherche de profil d'équilibre a une prédisposition sensible du fait des prédispositions aux effondrements de voute ou de tassement/débourrage des puits immédiatement voisins.

Evaluation des aléas sur le site de la parcelle 01BX0324 et rue des Pénitents

Les tableaux ci-dessous présentent les matrices de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site de la parcelle 01BX0324 et rue des Pénitents.

	Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité	***Tassement débourrage***			
Très limitée	**ALEA TRES FAIBLE (rue des pénitents)**	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT (parcelle 1BX0324)	ALEA TRES FORT
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	***Effondrement de voûte***			
Elevé	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT
Très Élevée	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA TRES FORT**	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	***Cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	**ALEA FORT**	**ALEA FORT**
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA FORT**

Figure 107 : Tableau d'analyse de l'aléa – rue des pénitents



Legende

Parcellaire (BdParcellaire 2010)

Puits d'accès aux cavités

Puits ouverts (risque de chute)

Aléas

Aléa très fort - Chute de voute (emprise observée)

Aléa très fort - Chute de voute (emprise déduite par µgravimétrie)

Aléa très fort - Chute de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)

Aléa très fort - Tassement/Débourrage

Aléa très fort - Tassement/Débourrage (Puits non localisé)

Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)

Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))

Figure 108 : Carte des niveaux d'aléas secteur rue des pénitents.

Les aléas Chute de voûte et Cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sont retenus avec **un niveau fort à très fort.**

La rue des Pénitents est exposés à deux natures d'aléas (chute de voute et cône d'effondrement). La chute de voute est localisée à proximité de la parcelle Rabadan à proximité du croisement avec la rue des pénitents et à proximité des puits N et O

L'aléa cône d'effondrement est associé à chacun des puits ou cavités proches.

Risques identifiés

Du fait de la présence d'une route à forte fréquentation *(à confirmer par des données quantifiées)* dans la zone d'aléa, le risque mouvement de terrain est élevé.

Une diminution de l'aléa ou des enjeux diminueraient ce risque. Elle doit être précédée d'une reconnaissance du site avant travaux avec la mise en sécurité des personnes et des biens dès lors que la parcelle sera effectivement évacuée. Les mouvements de terrains constatés au moment de la réalisation du sondage S4 ont démontrés l'instabilité forte du site. La dalle fissurée au droit de B1 masque un vide probable. L'inclinaison des silos immédiatement voisins marque le risque élevé de tassement/débourrage du puits N.

Les conditions d'investigation seront à adapter à ce contexte de risque élevé

5.5. REMEDIATION POSSIBLE

Mise en sécurité immédiate

La parcelle du 1BX0324 a fait l'objet d'un arrêté municipal d'évacuation immédiate.

La rue des pénitents est traitée dans les fiches de sites associée au site de l'avenue des ardoisières ou des bâtiments communaux. Elle peut être déviée pour réduire les enjeux présents au droit des aléas constatés.

Traitement de l'aléa

En l'absence de reconnaissance de la cavité associée au puits N, aucun traitement de l'aléa n'est envisageable. Pour la même raison, la cavité associée au puits B1' devra être au préalable reconnue pour envisager un traitement de cet aléa.

Au regard des désordres déjà observés et notamment la dalle de béton fissurée et inclinée au droit du puits B1, l'intégrité du bâti de cette parcelle est déjà mise en cause. Une remédiation au niveau de la cavité et des puits supposerait, de prime abord, la destruction de ces bâtiments.

Traitement des enjeux

Au regard du risque d'affaissement lié à la mise en place d'un cône de profil d'équilibre des remblais aux abords de puits, une réduction de l'intensité des risques est possible pour protéger les infrastructures menacées par ces affaissements (Figure 90 et Figure 109).

Figure 109 : Rupture de la dalle béton du batiment Rabadan (datée anté 2011 d'après témoins)

Les bâtiments étant touchés, seul l'enjeu composé par l'avenue des ardoisières n'est pas encore impacté pour l'heure.

Il est possible de renforcer la structure de l'ouvrage routier avec des matériaux résistants aux déformations (pose de filet en sous-face) mais, ce type de dispositif n'est mis en place que lorsque les mouvements attendus en surface demeurent faibles. Ce qui, en l'état des connaissances de l'état exact des cavités observées, n'est pas assuré (§ 0).

La solution de déviation de cet enjeu, proposée au § 4.5, peut être retenue également.

5.6. SUIVI DE SITE

Il peut être Intégré ou repris de celui du site des hangars et du minotier et du site de l'avenue des ardoisières.

5.7. SYNTHESE SITE

SITE				Rabadan, casse automobile	Rue des Pénitents
			Chapitres du rapport	*Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents*	*Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents*
ALEAS présents sur SITE	**fondrement de vou**	**remplissage des cavités**	***Epaisseur du toit de la cavité (nature)***	***8.10 m (schistes) - 14.5m (remblais et schistes)***	***7m et 8m***
			EAU (m^3)	**non reconnu**	**non reconnu**
			AIR (m^3)		
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)	**B1 B1'**	**N B1 B1'**
	Tassement Débourrage	***associé aux puits :***		**B1 B1'**	
	Cône d'effondrement	***associé aux puits ou cavité de :***		**B1 B1 Cavité associée**	**B1 et B1' N O O**
ENJEUX inventoriés	**Primaires sur cavité (Enjeux sur site)**			Batiments /hangars	Route communale
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)			Routes communales (Penitents et Ardoisières)	
	Secondaires sur cône				
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	**Action proposée par ordre indicatif de priorité**			**Evacuation**	**Information**
					Déviation
	Remédiation envisageables, prérequis			Investigation complementaire et sécurisée sur N	Investigation complementaire (sécurisée) sur N, B1 et B1'
	Techniques de remédiations			Deplacement de l'enjeu	Suppression de l'enjeu, filet sous-œuvre
	Contrainte traitement eau			NON	**NON**
	Interdépendances des sites			Pissotes ouest	
Propriétaire				**Particulier**	**Commune**

6. Site de la route du Temple

La route du temple représente un enjeu particulier puisqu'elle est la seule voie d'accès au secteur des Gardelles.

La route du Temple longe le secteur des Ardoisières, dans sa partie ouest.

Elle passe à proximité de puits d'exploitation inventoriés à nouveau en 2014 et dont la relation avec des cavités souterraines est hautement probable.

Cette route est également un ancien chemin d'exploitation du site des ardoisières et elle s'est substituée au chemin communal ancien d'accès au lieu-dit du Temple et des Gardelles.

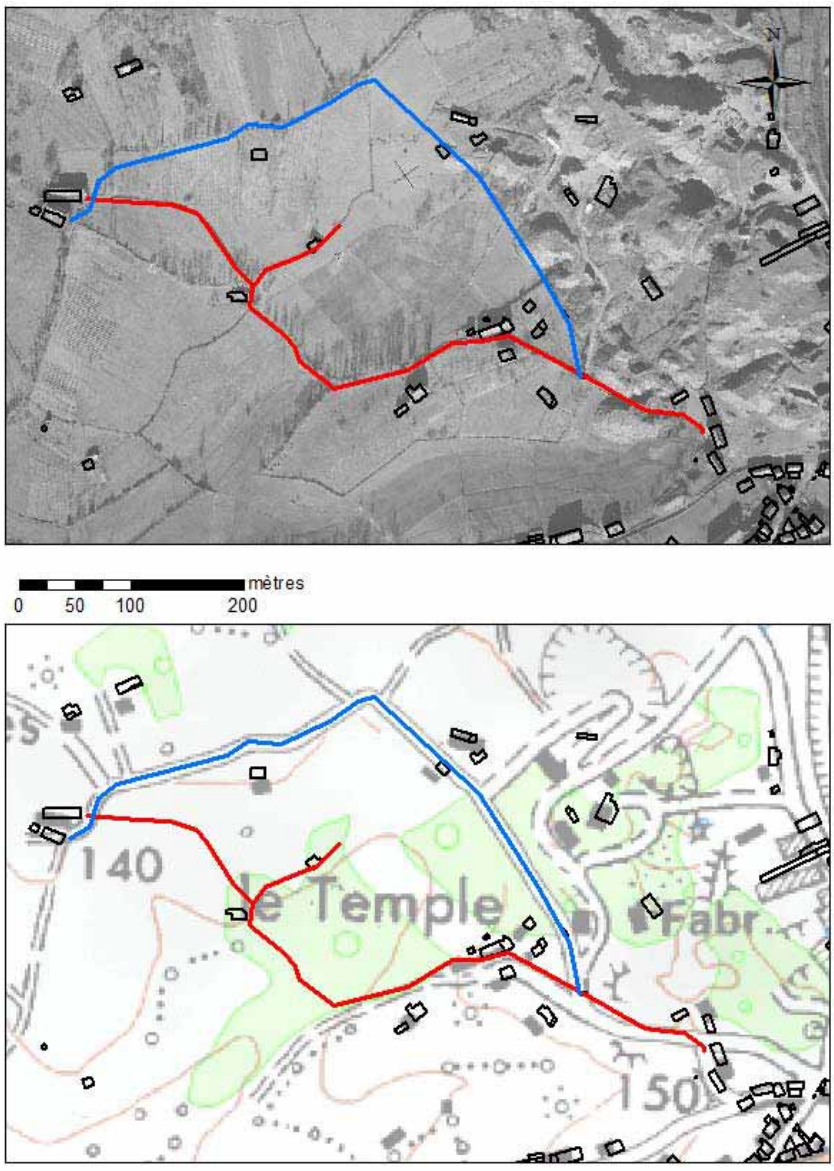


Figure 110 : Route du Temple, photo arienne de 1949 et BdTopo 2012 en bas, en bleu le tracé actuel, en rouge le tracé originel de 1949

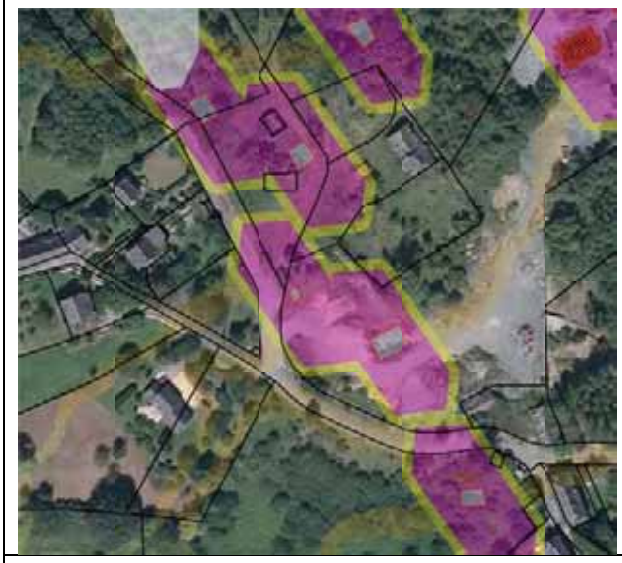


Figure 111 : Rue du temple; état initial des connaissances de l'aléa (2014)

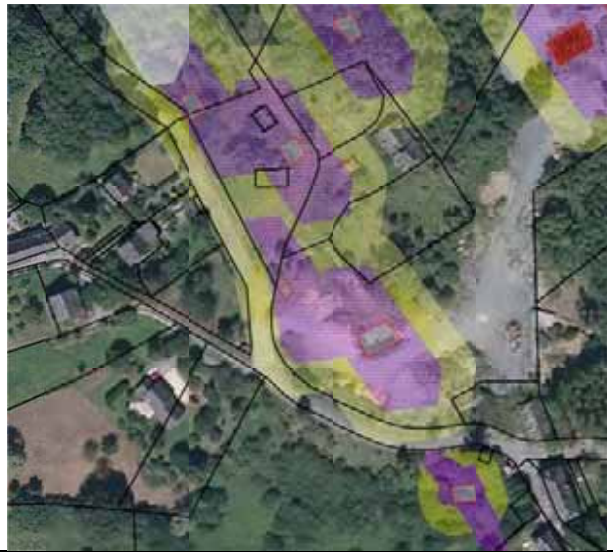


Figure 112 : Rue du temple; redéfinition de l'aléa à en octobre 2015

En 2014, par l'intermédiaire du puits M (ancien puits Bourdu), une cavité a pu être mise en évidence sous la route. Cette cavité est de grande dimension, en eau. Elle frange la route et l'épaisseur des terrains qui la recouvrent est de l'ordre de 15 mètres. Elle représente un risque élevé.

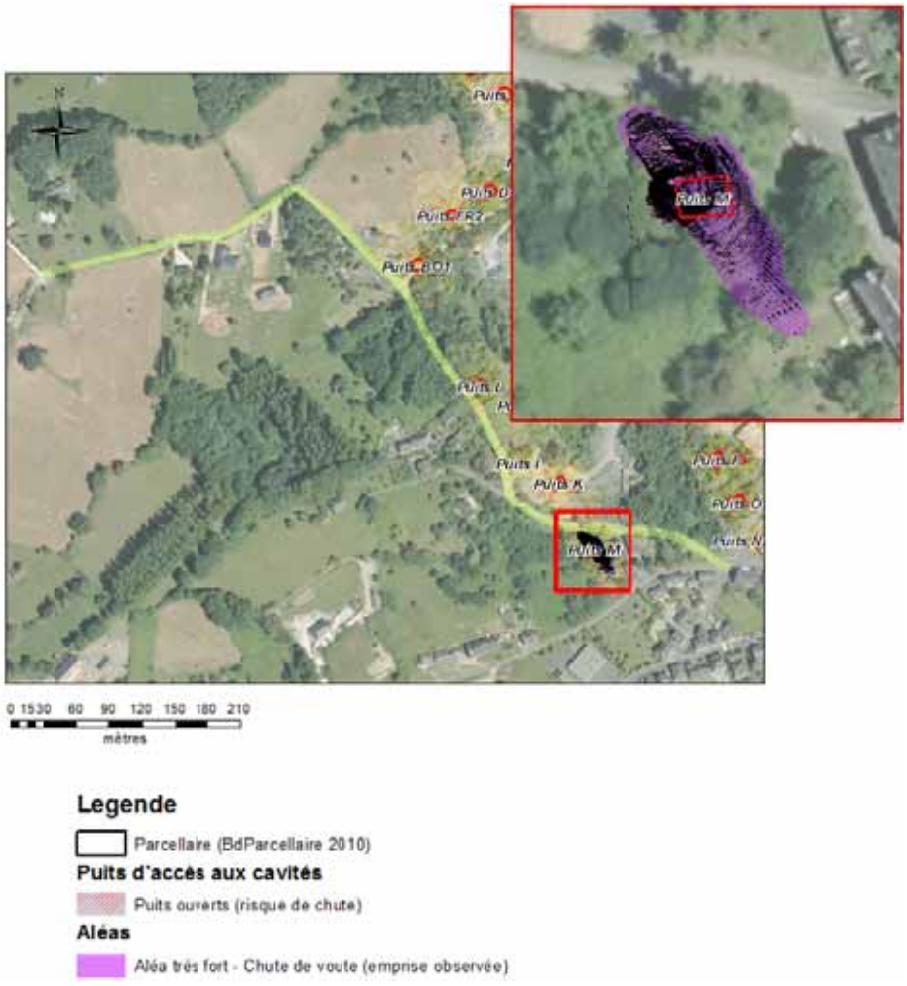


Figure 113 ; cavité reconnue par sonar en M (2014)

6.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE :

Le site « Route du Temple » se situe en bordure ouest des affleurements de la série ardoisière. Il concerne le filon Bourdu.

Le sondage S10 est d'une profondeur de 50 m. Il présente en tête, 6 m de limons sableux, marron à rougeâtre qui sont des remblais supposés. Viennent ensuite des schistes gris altérés jusqu'à une profondeur de 12 m. Des schistes grisâtres à noirs constituent le reste du sondage jusqu'à la profondeur de 50 m. Ce sondage ne recoupe pas de fracture importante qui pourrait fragiliser le bâti schisteux. Une seule zone d'avancement rapide, à 47 m, évoque le passage d'une fracture plus importante de quelques décimètres d'épaisseur.

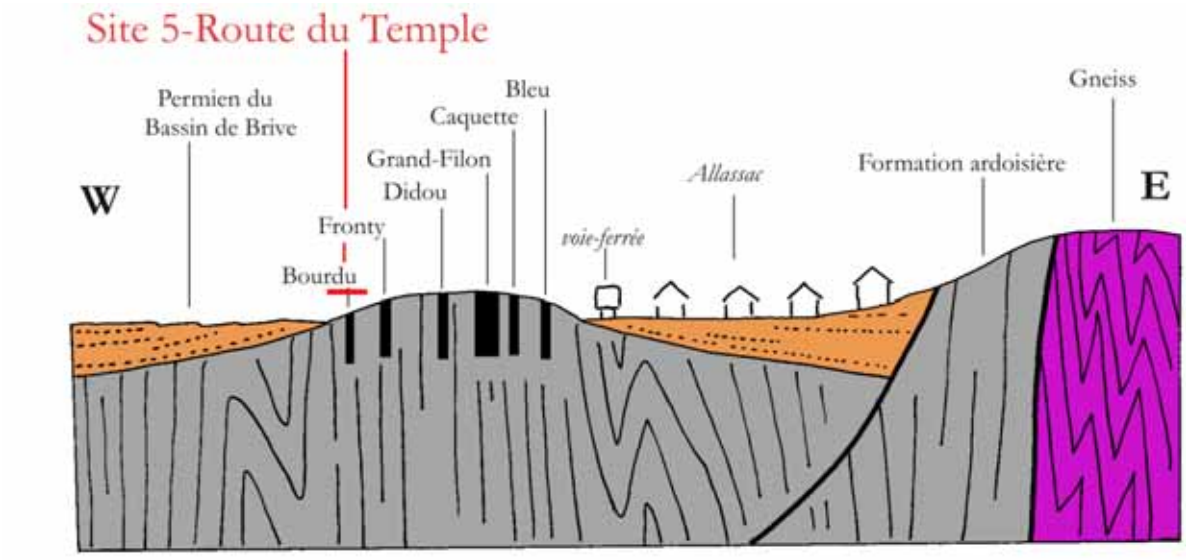


Figure 114 : Localisation du site « Route du Temple » sur une coupe E-W du gisement ardoisier.

Le sondage S10' fait 29,4 m de profondeur. Il présente des remblais et des limons marron jusqu'à une profondeur de 4,10 m. En dessous, une zone altérée descend jusqu'à 10,50 m. Des schistes noirs compacts occupent le reste du sondage.

Ce sondage ne recoupe pas de fracture importante du bâti schisteux. Seules quelques accélérations de la vitesse du forage marquent le passage de petites fractures.

Le sondage S11 présente des remblais jusqu'à une profondeur de 4 m. Il s'agit principalement de limons sableux, marron rougeâtres. Le reste du forage, jusqu'à la profondeur de 50 m, présente de rares accélérations de foration qui traduisent le passage de petites fractures qui affecte le bâti schisteux.

6.2. ETAT DES CONNAISSANCES

Puits I

Le puits I n'est mentionné que dans l'étude BRGM de 1997. Il n'apparait pas sur les photos aériennes de 1949 (Figure 115) ni sur celles qui leur sont postérieures (Figure 116).

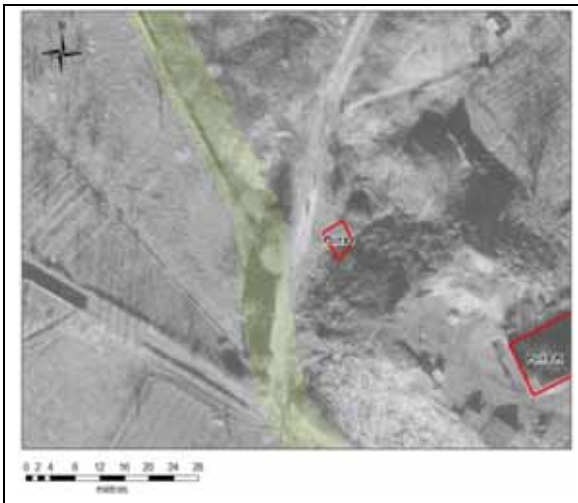


Figure 115 : Emplacement du puits I sur photo aérienne de 1949

Figure 116 : Emplacement du puits I sur photo aérienne de 1963

Son emplacement n'est marqué au long de la rue du Temple que par des remblais visibles en talus (Figure 117).

Figure 117 : Localisation supposée du puits I

Puits L

Le puits L est situé également le long de la route du Temple (Figure 118). Il est connu des riverains pour être utilisé comme décharge de déchets végétaux (Figure 119).

Figure 118 : Position supposée du puits L vue depuis la rue du temple

Figure 119 : Déchets présents dans la dépression du puits L (février 2014)

Le puits L est observable dès les photos aériennes de 1949 (Figure 120) mais il ne présente pas de signe d'activité

Figure 120 : Puits L en 1949

Figure 121 : Puits L en 1963

Il n'a pas été reporté d'évènement particulier associé à ces deux puits par les habitants rencontrés. En revanche, la route du Temple, en bordure des terrains contenant les puits, présente des déformations et des affaissements du revêtement routier qui sont régulièrement remis en état par les services de la voirie.

6.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR LE SITE DE LA ROUTE DU TEMPLE

Campagne de géophysique

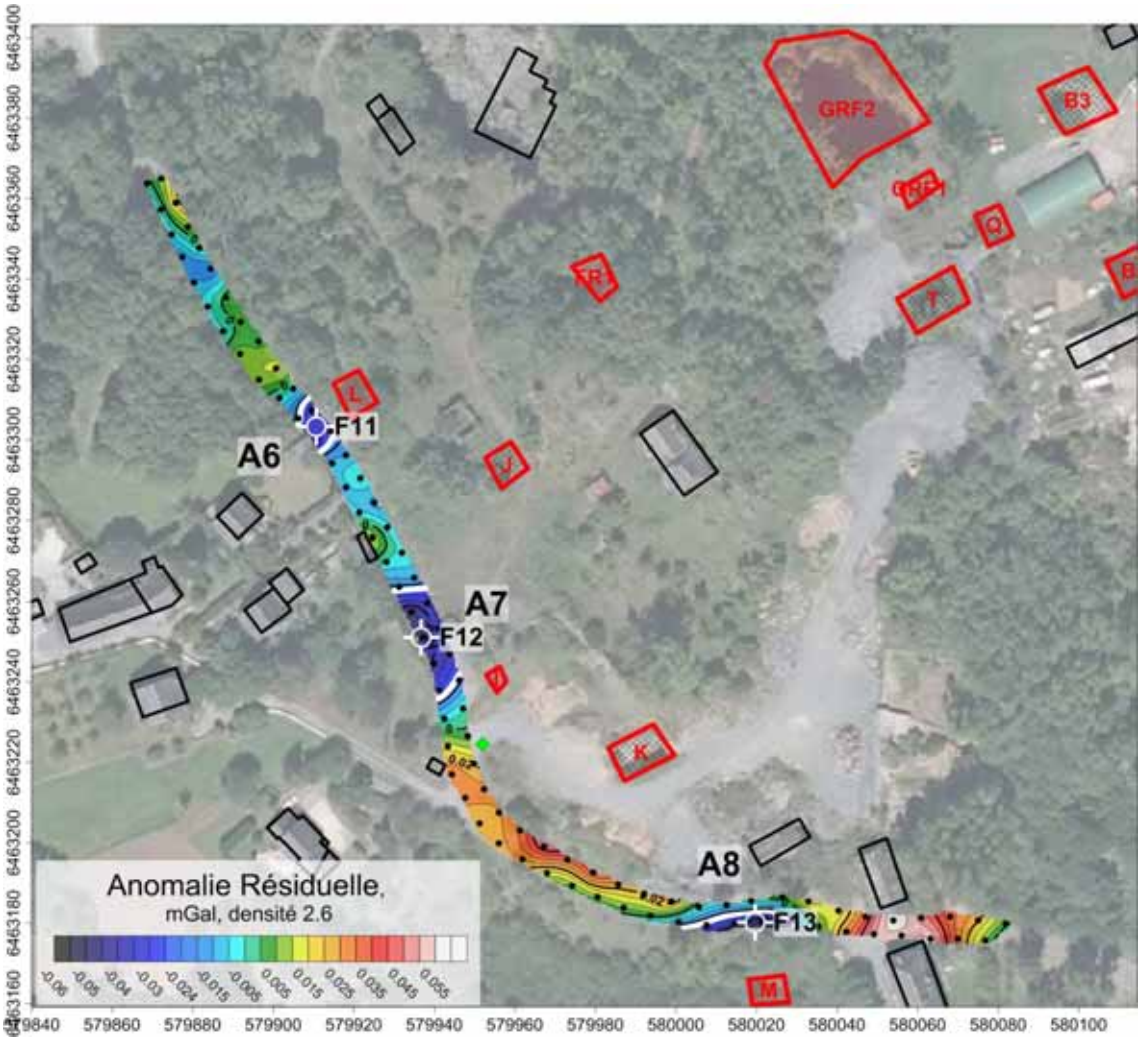


Figure 122 : Anomalie résiduelle (mGal) pour les zones ZR2. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

L'anomalie A6 est située proche du puits L, est atteint -0,034 mGal. L'anomalie A7 atteint -0,045 mGal. L'anomalie A8 atteint -0,045 mGal, et présente un fort gradient dirigé vers le puits M.
Notons que de par l'implantation des stations sur route uniquement, les anomalies décelées ne pas circonscrites.

Réalisation de sondages

Trois sondages (S11, S10 et S10' Figure 123) ont été réalisés sur les anomalies les plus importantes mesurées sur la route du Temple. Ces anomalies correspondent à l'emplacement des désordres observés sur le revêtement de la chaussée

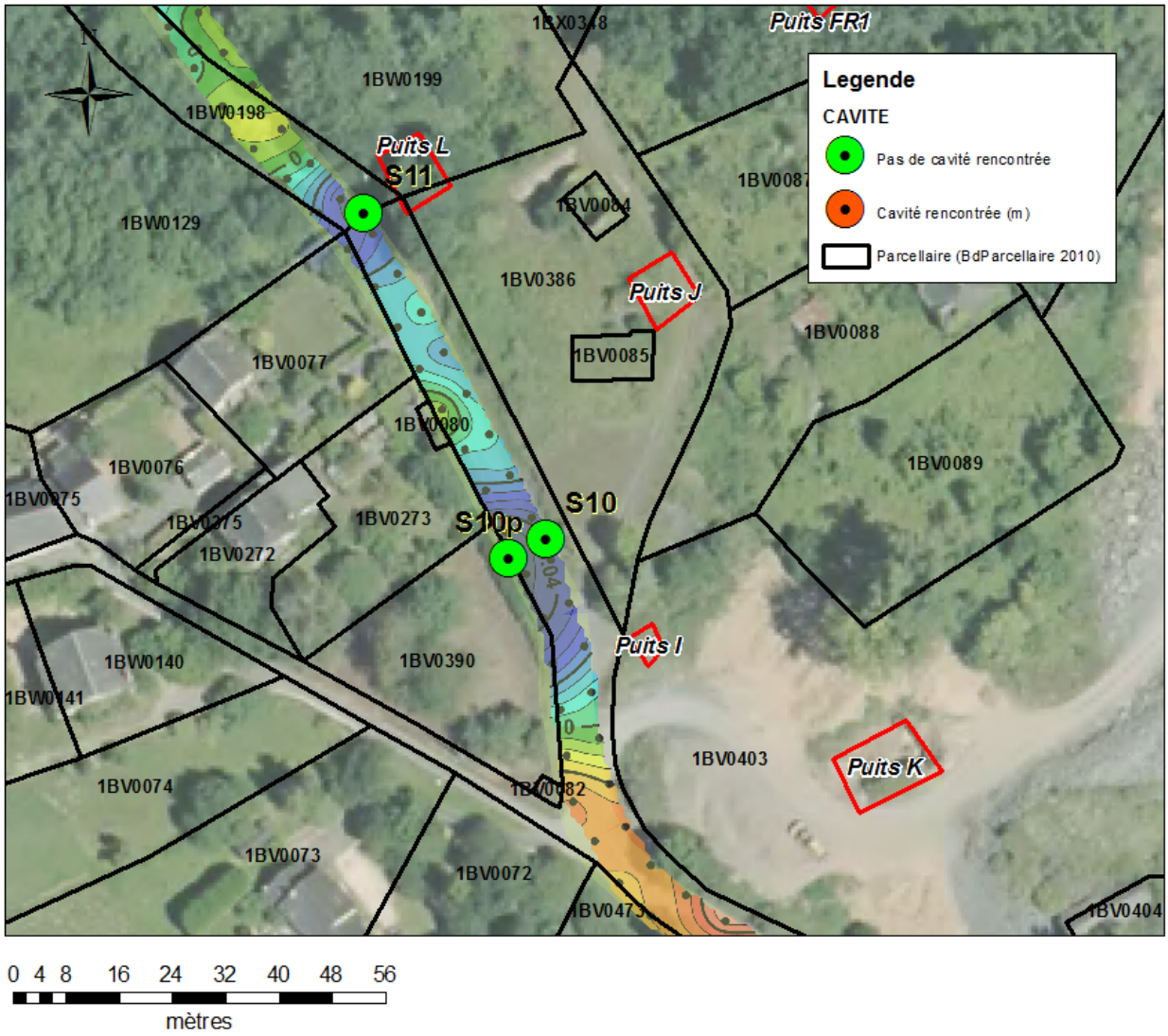


Figure 123 : Sondages réalisés sur la route du Temple

Aucun sondage n'a recoupé de signe de cavité souterraine à une profondeur inférieure à 50 mètres.

Les anomalies négatives de la gravimétrie reportées sur la carte précédente ne peuvent être interprétées de manière univoque sans les informations complémentaires fournies par les données de sondages mécaniques. Les cavités attendues n'ont pas été recoupées, les anomalies qui étaient visées peuvent correspondre :

- à des variations latérales de densités au sein des terrains, liées à leur nature et à leur lithologie, à leur degré d'altération ou à leur degré de compaction
- à des variations d'épaisseur de remblais peu dense sur un substrat plus dense.

L'hypothèse de cavités vides, ennoyées, ou partiellement remblayées ne peut être exclue à proximité de la route dans la parcelle contenant les puits. A l'exemple de l'illustration 35 du rapport associé à la campagne de micro-gravimétrie joint en annexe, l'effet d'une cavité ennoyée dont le toit est à 15 m de profondeur, de 15 m de hauteur, et de 10 m x 20 m d'emprise a été modélisé. Si l'on effectue des mesures de microgravimétrie selon un axe N-S représentant une route, centré sur l'abscisse x=10 m, on observera une anomalie < -0,040 mGal, à y=0 m. En implantant un forage à x =8 m et y= 0 m, on ne recoupera pas la cavité.

6.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE LA ROUTE DU TEMPLE

Selon le logigramme d'interprétation des sites d'exploitation (figure 4), la route du temple est soumise aux aléas associés au puits M et la cavité à laquelle il accède. La typologie de ce site est de type A. Il peut évoluer en 2 (chute de voute) et la mise en place de cône d'équilibre associés au puits ou à la cavité est envisageable (i, j)

Hors le secteur du puits M, sur la route du temple, seules les mises en place de profil d'équilibre lié à des puits ou cavité hors de l'emprise de la route sont à envisager en l'état des connaissances acquises (typologie i, j de la figure 4)

Intensité des phénomènes redoutés

La chute de voûte est à un niveau d'intensité très élevé sur la route (extension de la cavité sup à 80m²). En complément d'information la portée de la voute est de 10m et la hauteur de chute pluri métrique.

Le niveau d'intensité pour l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre est élevé car, en sus de la cavité associée au puits M, les puits qui bordent cette voie sont susceptibles de se tasser ou débourrer ainsi que les cavités auxquelles ils sont théoriquement liés..

Il n'y a pas de puits sur l'emprise de la route, le risque de tassement ou débourrage de puits n'est pas pertinent.

Prédisposition aux phénomènes redoutés

Avec une portée de l'ordre de 10 m sur toute l'emprise de la cavité (puits M) au droit de la route, pour une épaisseur de recouvrement de 20 m (dont plusieurs mètres de remblai probablement), et des matériaux d'altération variable et en l'absence de failles, la prédisposition à l'effondrement de voute retenue est sensible.

La prédisposition au phénomène de cône d'effondrement est associé à celle du phénomène d'effondrement de voute, et est donc estimée sensible.

Evaluation des aléas sur le site de la route du Temple

Les tableaux ci-dessous présentent les matrices de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site de la route du Temple.

Les niveaux d'aléa ainsi déterminés sont donc fort à très fort.

	Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité	***Effondrement de voûte***			
Elevé	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA FORT**	ALEA TRES FORT
Très Élevée	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA TRES FORT**	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	***Cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	**ALEA FORT**	**ALEA FORT**

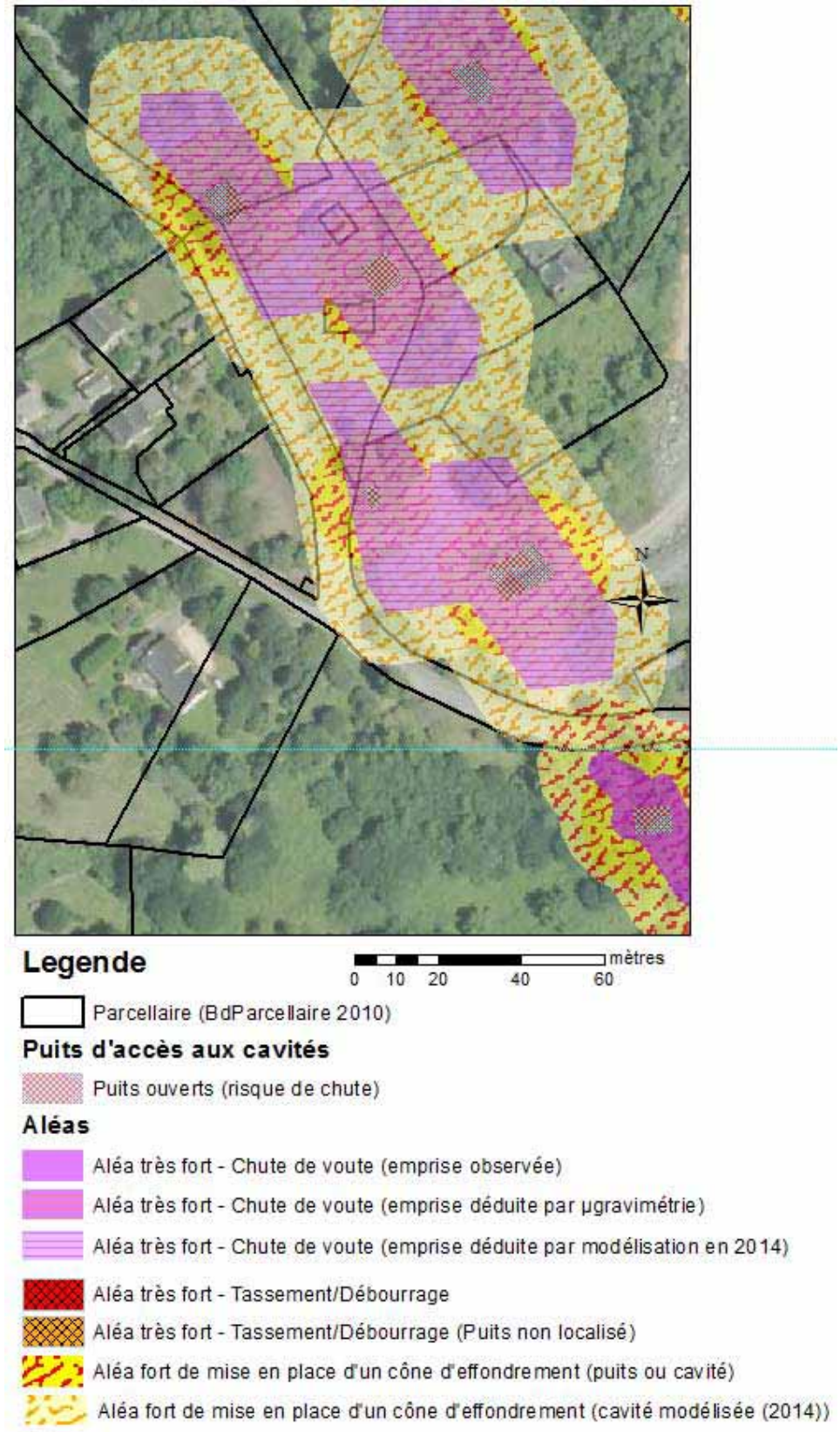


Figure 124 : Cartographie de l'aléa sur la route du Temple

Risques identifiés

Du fait de la présence d'une route à fréquentation importante *(à confirmer par des données quantifiées)* dans la zone d'aléa, le risque mouvement de terrain est élevé.

6.5. REMEDIATION POSSIBLE

Mise en sécurité immédiate

La route du Temple est soumise à un aléa très élevé et un risque très élevé au droit de la cavité du puits M. Vers le nord, seuls subsistent des aléas liés à d'éventuels cônes d'effondrements associés aux puits L et I. La route du Temple au regard de ces risques doit faire l'objet d'une limitation en tonnage des véhicules qui l'empruntent. Il n'y a pas, actuellement, de déviation possible à cette voie de communication.

Traitement de l'aléa

Au regard du risque d'affaissement lié à la mise en place d'un cône de profil d'équilibre des remblais aux abords des puits I ou L et des cavités associées, une remédiation est possible pour protéger les constructions menacées par ces affaissements. Il est en effet possible de renforcer la structure de l'ouvrage routier avec des matériaux résistants aux déformations (pose de filet en sous-face) mais, ce type de dispositif n'est mis en place que lorsque les mouvements attendus en surface demeurent faibles.

Sur la partie de la route affectée par l'aléa associé au puits M, une remédiation, au regard des volumes à traiter et de l'accessibilité du site est difficile

Traitement des enjeux

Le déplacement de l'enjeu est envisageable. Une alternative au tracé peut être étudiée, par exemple au nord immédiat de ce puits si le puits K n'est pas lui-même en relation avec une cavité. Cette cavité pourrait rejoindre la cavité M mais en l'état de la campagne de microgravimétrie, aucun indice ne laisse supposer une telle relation.

Cela nécessite une investigation complémentaire en géophysique de la parcelle au nord de la voie où une campagne de µgravimétrie réalisée pourrait être étendue vers K pour infirmer ou confirmer cette hypothèse.
La solution d'un pontage de la voirie est probablement plus complexe que son déplacement.

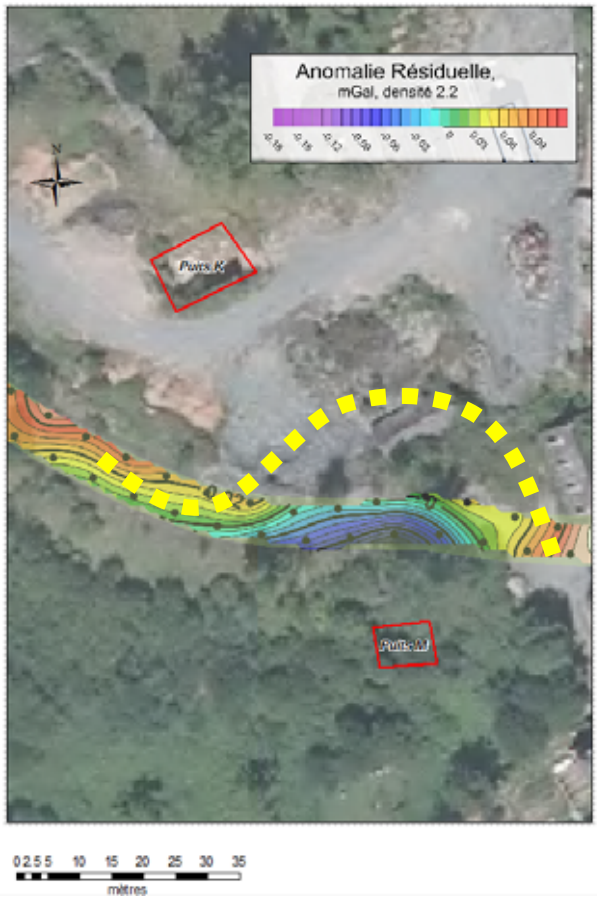


Figure 125 : Analyse microgravimétrie sur la route du Temple (secteur puits M et K), en jaune une piste de déviation

6.6. SUIVI DE SITE

Le suivi du parement du puits M et de l'évolution des indices de tassements des puits I et L peut être mis en place.

6.7. SYNTHESE SITE

SITE				**Rue du temple**
			Chapitres du rapport	*Site de la route du Temple*
ALEAS présents sur SITE	**Effondrement de vou**	**remplissage des cavités**	***Epaisseur du toit de la cavité (nature)***	***15m (epaisseur de remblais inconnue)***
			EAU (m^3)	**6273**
			AIR (m^3)	**(s.o.)**
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)	**M**
	Tassement Débourrage	***associé aux puits :***		
	Cône d'effondrement	***associé aux puits ou cavité de :***		**L I Cavité de M**
ENJEUX inventoriés	**Primaires sur cavité (Enjeux sur site)**			Route communale
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)			
	Secondaires sur cône			parcelle jardin & parcelle bâti
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	**Action proposée par ordre indicatif de priorité**			**Information** **Limitation tonnage**
	Remédiation envisageables, prérequis			Investigation complementaire (parcelle 1BV0403 vers K)
	Techniques de remédiations			Déplacement de l'enjeu, filet sous-oeuvre.
	Contrainte traitement eau			**OUI**
	Interdépendances des sites			A
Propriétaire				**Commune**

7. Site de la route des Pissotes

A l'identique de la route du temple, la route des Pissotes représente l'unique voie d'accès à un secteur où se situent une habitation et une entreprise agricole (Figure 126).

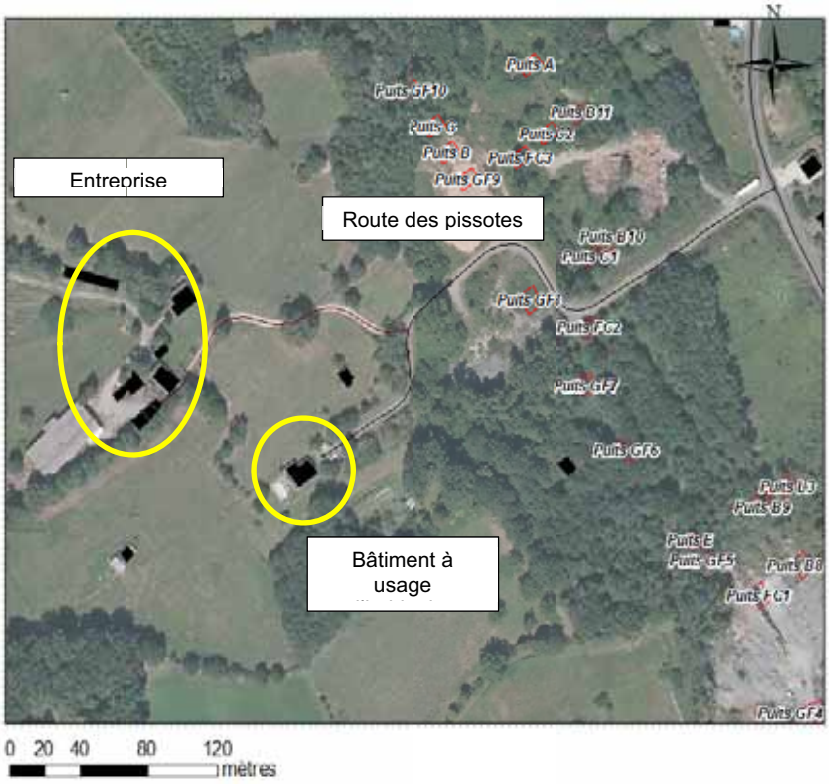


Figure 126 : Riverains de la route des Pissotes

Figure 127 : Cartographie de l'aléa potentiel secteur la rue des Pissotes (étude 2014)

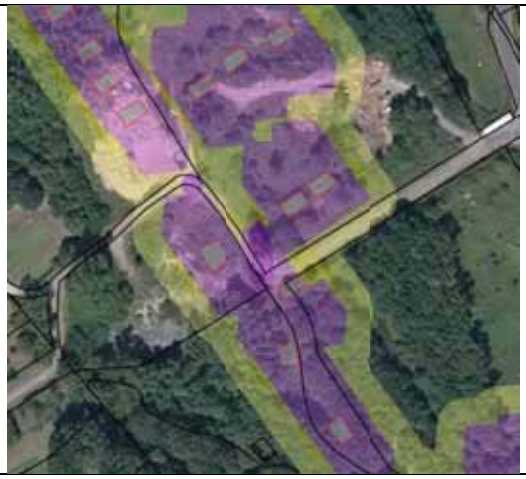


Figure 128 : Rue des Pissotes; redéfinition de l'aléa à en octobre 2015

7.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE :

Le site se situe dans la partie nord du gisement ardoisier. Les puits d'exploitation du site Pissottes concernent principalement le Grand-Filon et le filon Caquette. Ils se situent dans la partie centrale du faisceau de filons ardoisiers (Figure 129).

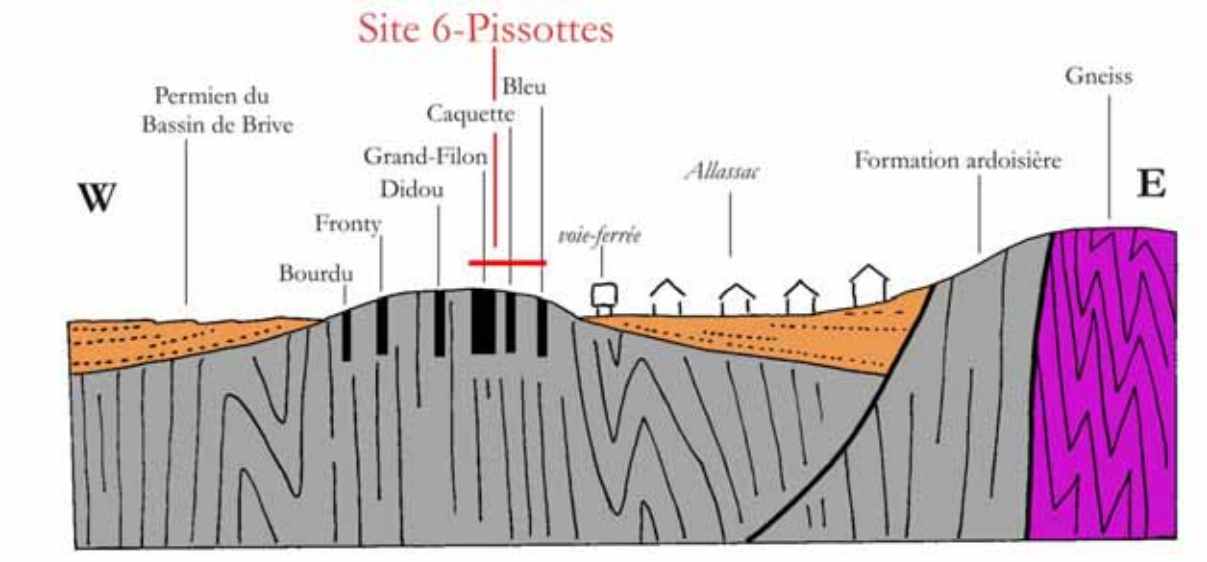


Figure 129 : Localisation du site des Pissottes dans une coupe E-W du gisement ardoisier.

Il a été reconnu par trois sondages, S1, S1'et S2.

Le sondage S1 n'a pas mis en évidence la présence de cavité.

Le sondage S2 a montré une cavité remblayée de limons contenant des éléments anthropiques (verres, éléments métalliques), entre 10,0 m et 15,2 m. Cette cavité est également sous nappe.

Le sondage S1 n'a pas identifié clairement de remblais en surface. Il a recoupé jusqu'à une profondeur de 10 m un schiste altéré, marron foncé puis noir. Un schiste compact noir occupe le forage jusqu'à une profondeur de 50 m. S'en suit la traversée d'un banc quartzeux très dur qui rend le forage difficile. Ce faciès correspond probablement à une structure amygdalaire siliceuse comme on peut en voir dans l'exploitation actuelle à ciel ouvert. Ils correspondent à des passages plus sableux et siliceux de la sédimentation détritique. Ce sondage n'a recoupé aucune faille importante capable de fragiliser le bâti schisteux.

Le sondage S1' présente le même faciès que S1 de schistes altéré, puis compacts jusqu'à 13 m. S'en suit une cavité remblayée de limons mous, jusqu'à 19 m. Des schistes noirs occupent le reste du sondage jusqu'à 23 m. Il est probable qu'une fracture importante affecte la partie supérieure de sondage, à 5 m de profondeur. Elle est marquée par une accélération de la vitesse du forage sur une épaisseur de 50 cm environ. Le reste du forage est affecté par de petites fracture d'importance probablement centimétrique à pluri-centimétrique.

7.2. ETAT DES CONNAISSANCES

Un grand nombre de puits sont présents sur le secteur des Pissottes : GF7, GF8, GF9, B, C, GF10, FC2, C1, FC3, B10, C2, A, B11. Ces puits ont été utilisés comme lieu de dépôt de matériaux inertes ou non.

Certains, le puits GF8 par exemple, sont encore utilisés comme point de décharge de déchets inertes par la commune. Bien qu'utilisé de la sorte depuis de nombreuses années, le puits GF8 se tasse régulièrement et permet l'apport de nouveaux matériaux. GF8 était exploité en 1949 et a été utilisé comme décharge dès les années 1960.

Figure 130 : GF8 : Remblais de terres récents

Le puits GF7, moins accessible, contient des déchets de type électro-ménagers et futs métalliques.

Figure 131 : Puits GF7

Figure 132 : Rue des Pissotes,1949

Le puits FC2 n'apparait pas

Figure 133 : Rue des Pissotes,1963

Apparition de FC2

Figure 134 : Rue des Pissotes,1970

Figure 135 : Rue des Pissotes,1977

Tous les puits semblent comblés

Contexte historique du site de la rue des Pissotes

En 1977 tous les puits sont comblés ou en cours de comblement (GF8)

Les puits B10 et C1 se tassent régulièrement, ainsi que ceux à côté (FC3, B11, C2) d'après les témoins riverains.

Le puits GF8, utilisé par les services municipaux, se tasse régulièrement

7.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR SITE

La présence d'un très grand nombre de puits a marqué la présence d'un fort aléa potentiel dès l'étude de 2014. Pour reconnaitre cet aléa une campagne de µgravimétrie a été entreprise pour permettre de positionner des sondages de reconnaissance d'éventuelles cavités.

Campagne de géophysique

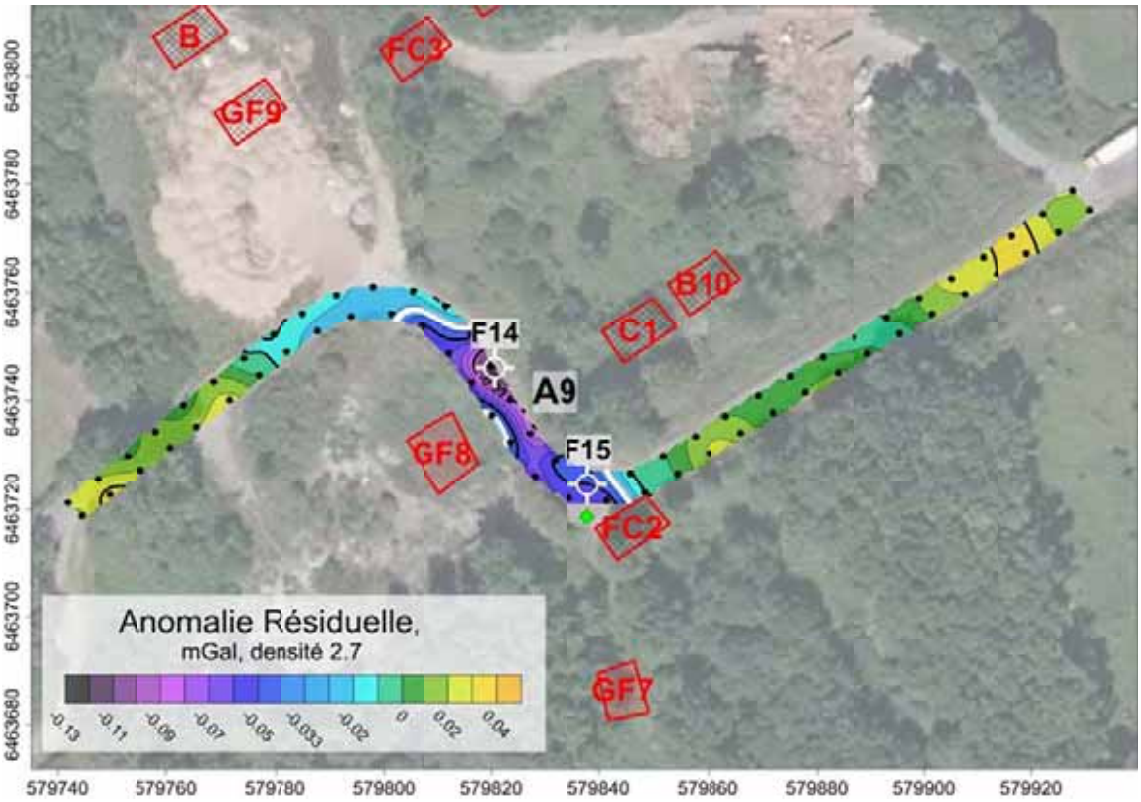


Figure 136 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone ZR3. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives

L'anomalie résiduelle obtenue (Figure 136), présente une anomalie significative, A9. Cette dernière atteint -0,120 mGal, et se situe entre les puits GF6, FC2 et C1.

De par l'implantation des stations sur route uniquement, les anomalies décelées ne sont pas circonscrites. Les puis C1 et B10 ne produisent pas d'anomalie négative dans le prolongement supposé des filons vers le sud, seule la partie de la route orientée nord-nord est sud-sud ouest est au-dessus d'une anomalie

Réalisation des sondages d'exploration

A partir des résultats de l'étude de microgravimétrie, deux sondages ont été prévus sur le secteur de la Rue des Pissotes (S1 et S2). Un troisième sondage a été positionné plus au nord du secteur d'après des indications fournies par les riverains.

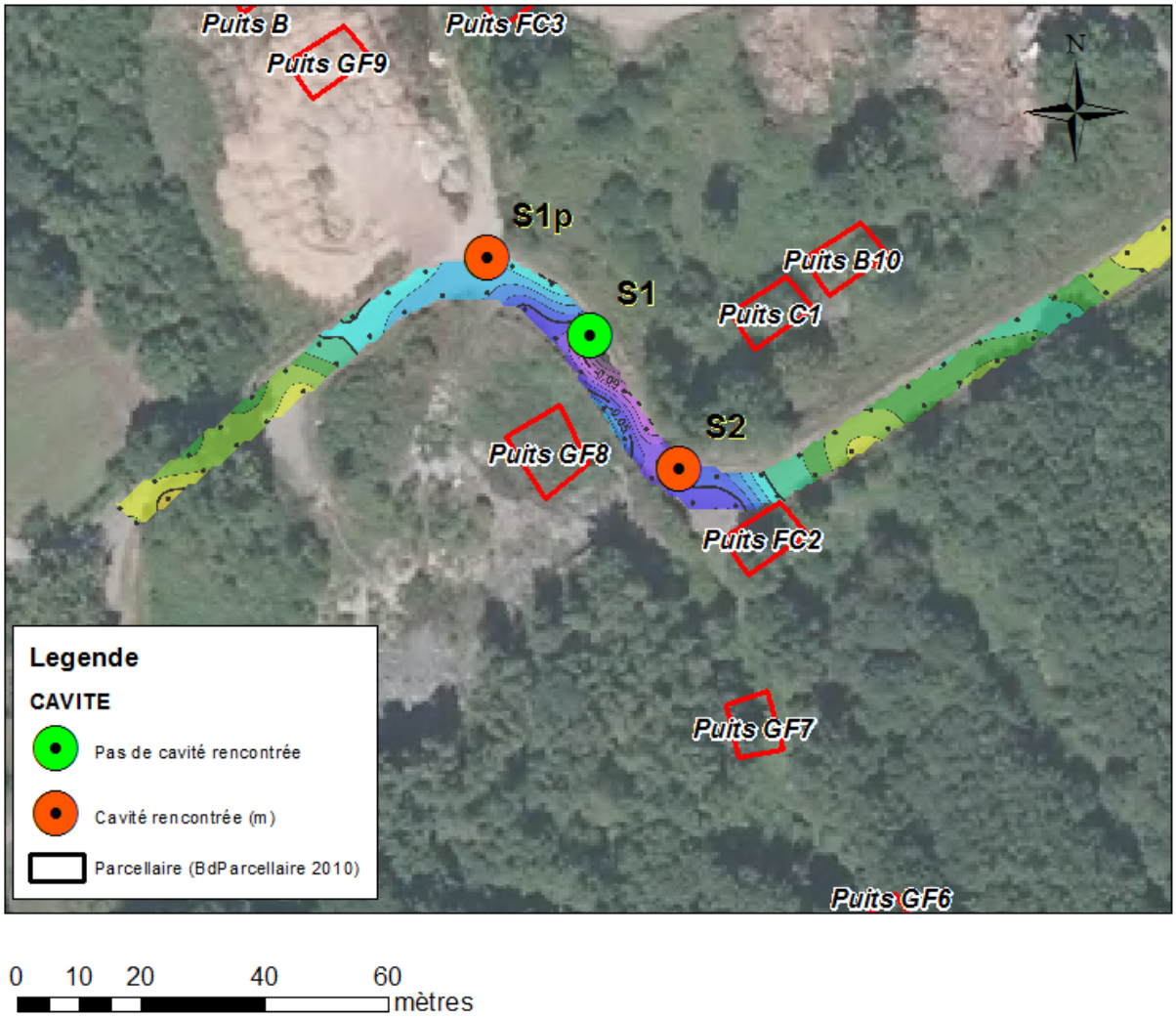


Figure 137 : Localisation des sondages - Rue des Pissotes

Dimensionnement de la cavité

5 coupes horizontales ont pu être réalisées à travers le tubage pour ausculter la cavité. Le volume obtenu après interprétation est d'environ 30 m^3.

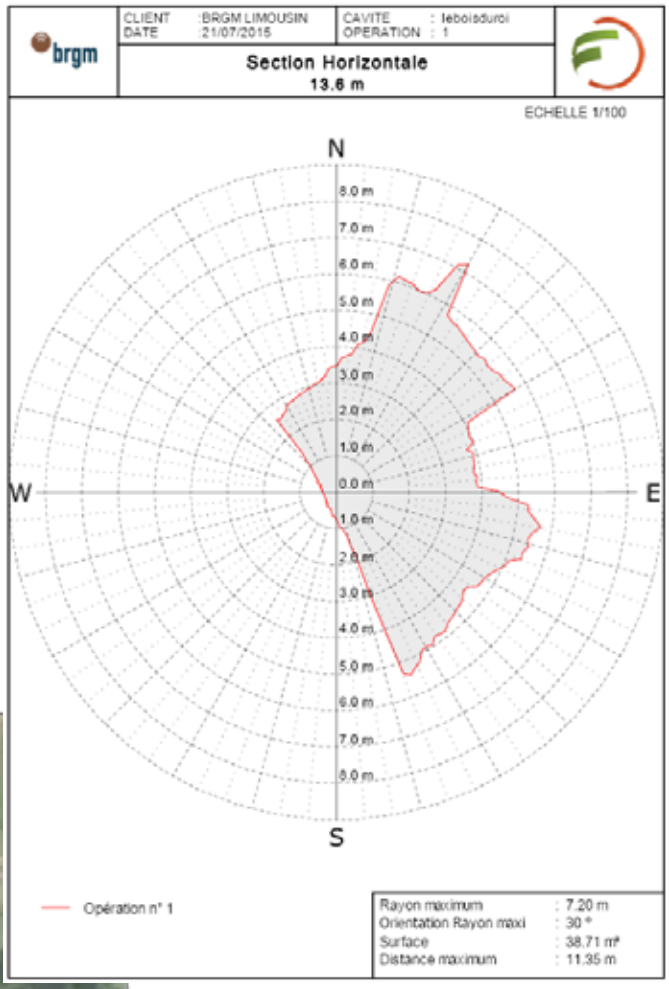


Figure 138 : Coupe 1, Cavité sondage S1' , route des pissotes

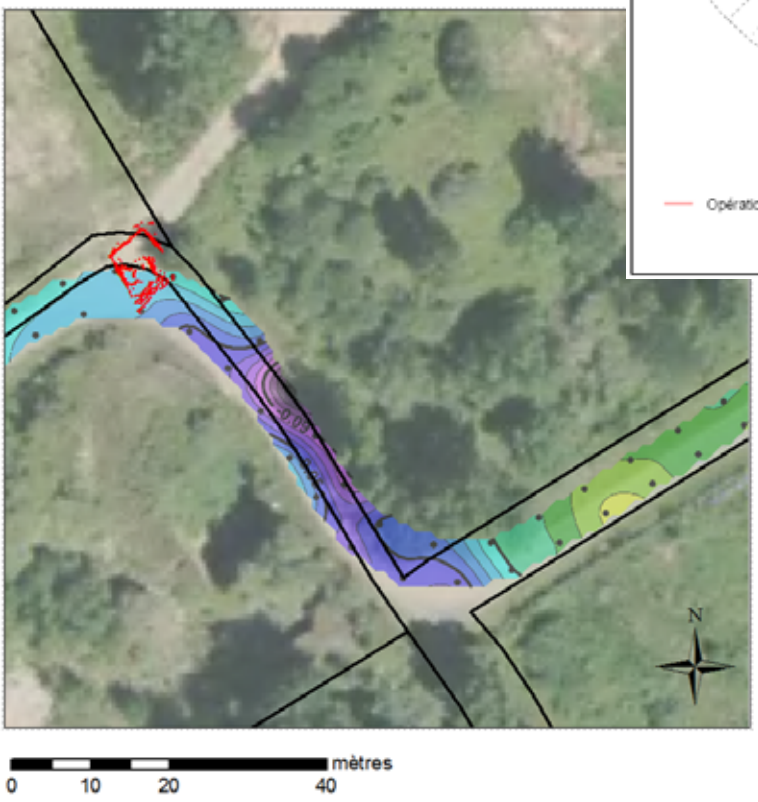


Figure 139 : Localisation des échos sonar mesurés (en rouge) de la cavité associée à S1'

7.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DE LA ROUTE DES PISSOTES

Deux cavités ont été recoupées par sondage.
Sur le sondage S2, une cavité présente des remblais et peut être associée à trois puits GF8, FC2 ou C1. C1 est le puits le plus éloigné de ce sondage. Dans ce sondage l'outil de foration a été bloqué par des matériaux métalliques il s'agit soient de remblais soient de matériaux liés à l'exploitation ardoisière ancienne. La cavité est en eau à partir d'une profondeur de 13m.

Sur le sondage S1', foré d'après une implantation proposée par les riverains, un vide définissant une cavité de faible extension a été reconnue (Figure 138 et Figure 139). Au regard de ses dimensions cette cavité semble pouvoir être associée :

- soit à une galerie de communication entre puits
- soit une galerie d'exploration depuis la chambre souterraine d'extraction pour évaluer l'extension du gisement.
- soit à une partie d'une chambre d'exploitation partiellement comblée

La cavité est en eau à partir d'une profondeur de 13,5m. La cote piézométrique de la nappe s'établissant pour les deux sondages entre 150 et 155m.

Selon le logigramme d'interprétation des sites d'exploitation (figure 4), le secteur présente des puits remblayés et des cavités souterraines remblayées en partie ou non.

- L'anomalie observée lors de la campagne de micro-gravimétrie est probablement consécutive de plusieurs cavités dont deux ont été reconnues. Une seule présente un vide à 13 mètres de profondeur pour une portée de 7 mètres et une hauteur de vide de 6 mètres. La seconde cavité est remblayée de matériaux en eau, probablement fluants. La partie de l'anomalie la plus forte (-0,1) a été reconnue par sondage mais aucune cavité n'a été rencontrée en ce sondage
- La route ne franchit aucun puits.

Dans la nomenclature des typologies proposées (Figure 24), le site est qualifié en B et C.

- Pour la partie de la cavité présentant des remblais en eau, le phénomène de tassement ou de débourrage des puits ne peut être rejeté. Le secteur peut évoluer en 1 ou 2 (tassement de la cavité avec remblai en eau - anomalie du sondage S2 - ou chute de voute - anomalie du sondage S2' ou FC2).
- L'aléa de mise en place de cônes d'effondrement lié à la mise en place de profil d'équilibre associés soit à des tassements de puits voisins ou de cavité est présent (**i**, **j**, **k**)

Intensité des phénomènes redoutés

Le phénomène de tassement ou débourrage de puits au droit de la route *n'est pas retenu.*

La chute de voûte est à un niveau élevé. Somme d'une Intensité moyenne sous la route – sondage S2' (surf <= 10m² et vide identifié pluri-métrique) et d'une intensité élevée - sondage S2 (cavité identifiée de surface > 80m² et remblais fluants).

Le niveau d'intensité pour l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre est élevé dans toute la zone d'anomalie. Il peut différer cependant en relation avec la profondeur des vides qu'un effondrement de voute pourrait produire, cependant au regard du puits GF8 voisin de la route il est considéré élevé.

Prédisposition aux phénomènes redoutés

En termes de probabilité *d'effondrement de voute* sur ce secteur, il n'y a pas de série historique permettant d'élaborer une gamme de période. Cependant, la présence de matériaux fluant dans les remblais des cavités ou de vide impose de retenir une prédisposition sensible à très sensible aux mouvements de terrains.

La mise en place de *cônes liés à la recherche de profil d'équilibre* compose une prédisposition identique à la prédisposition des autres phénomènes tassement / débourrage et effondrement de voute. On retient donc, au bord de la route site, une prédisposition sensible associée à la prédisposition forte de débourrage de puits (FC8, FC7), et une prédisposition sensible à très sensible associée à l'effondrement de voute.

Evaluation des aléas sur le site de la rue des Pissotes

Matrice de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site de la rue des Pissotes.

	Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité	***Effondrement de voûte***			
Elevé	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA FORT**	**ALEA TRES FORT**
Très Élevée	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA TRES FORT**	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	***Cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	**ALEA FORT**	**ALEA FORT**
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	**ALEA FORT**	**ALEA FORT**

Figure 140 : Tableau d'analyse de l'aléa - Rue des Pissotes

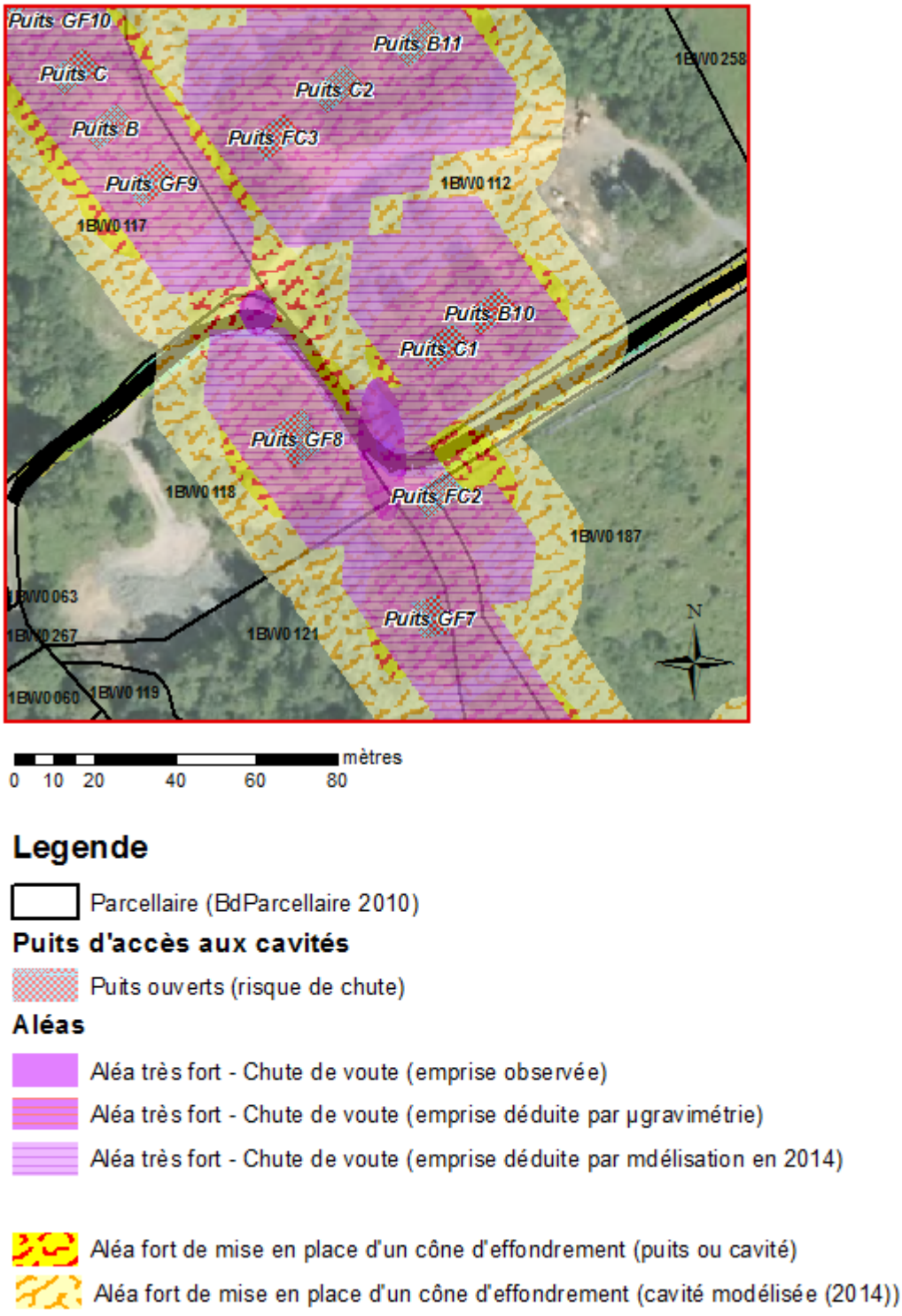


Figure 141 : Cartographie des aléas de la zone de la routes des Pissotes

Les aléas chute de voûte et cône d'effondrement sont tous présents avec **un niveau fort à très fort.**

La prédisposition à l'aléa chute de voute est élevée sous la cavité identifiée comme en eau. L'aléa cône d'effondrement est associé à chacun des puits ou cavités proches de la route et s'étend sur l'emprise de la voie.

Risques identifiés

Du fait de la présence d'une route qui dessert une maison et une entreprise agricole *(à confirmer par des données quantifiées)* dans la zone d'aléa, le risque mouvement de terrain est élevé. Cette rue est la seule voie d'accès à ces bâtiments.

7.5. REMEDIATION ENVISAGEABLE

Mise en sécurité immédiate

La route des Pissotes est soumise à un aléa très élevé et un risque très élevé au droit des cavités reconnues. La route au regard de ces risques doit faire l'objet d'une limitation en tonnage des véhicules qui l'empruntent. Il n'y a pas, actuellement, de déviation possible à cette voie de communication.

Traitement de l'aléa

Une remédiation est possible dans la partie nord de la route, la cavité étant de volume faible et un comblement étant envisageable. Les investigations sonar ont permis son dimensionnement, il correspond à un volume de 31 m^3.

Pour protéger la voirie au niveau de la cavité au sud il est possible de renforcer la structure de l'ouvrage routier avec des matériaux résistants aux déformations (pose de filet en sous-face) mais, ce type de dispositif n'est mis en place que lorsque les mouvements attendus en surface demeurent faibles donc soit hors emprise de cavité souterraine soit en présence de matériaux pour lesquels le risque de fluage est faible. Cela suppose sur cette anomalie d'envisager une reconnaissance complémentaire hors zone d'emprise de la route pour rechercher d'éventuels vides disponibles pour un fluage éventuel de matériaux.

Traitement des enjeux

La solution d'un pontage de la voirie est probablement complexe du fait du virage que prend la voie à cet endroit.

Le déplacement de cet enjeu, vers l'avenue des ardoisières au travers de la parcelle 1BW0112 est une solution qui suppose des investigations complémentaires pour connaitre éventuellement le niveau de l'aléa entre les puits et cavités qui occupent ce terrain.

Le déplacement de cet enjeu vers l'ouest est possible également, il est plus important en termes de longueur de voies mais hors emprise des exploitations ardoisières.

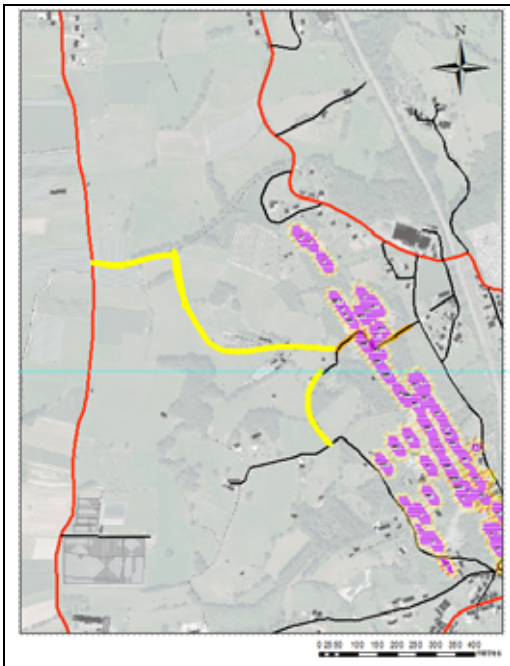


Figure 142 : En jaune des pistes de deviation de la rue des Pissotes vers l'ouest

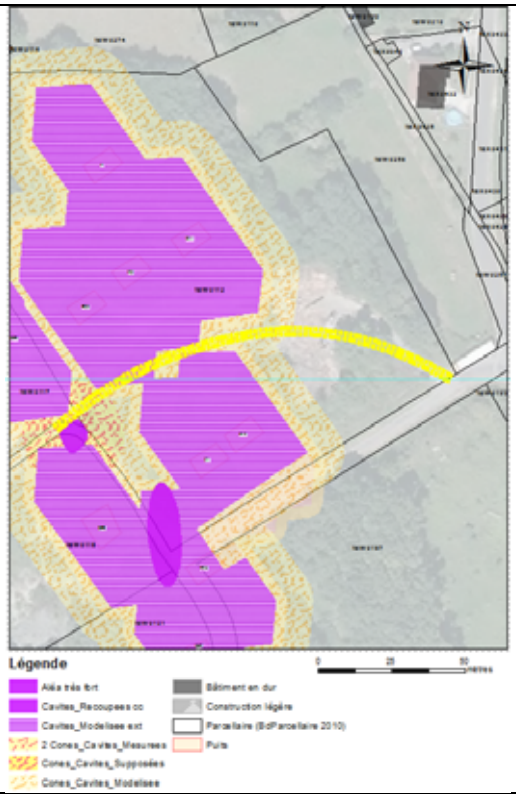


Figure 143 : Pistes de deviation de la rue des Pissotes vers l'est

7.6. SUIVI DE SITE

Le secteur des pissotes, au droit de la cavité en eau au nord, ne nécessite pas de suivi particulier.

Dans le secteur où existe une cavité remblayée de matériaux fluants, la mesure des niveaux piézométriques peut être un indicateur de mouvements de tassement de ces remblais. Le puits GF8 est actuellement utilisé par la commune pour y déverser des matériaux inertes. Les remblais se tassent régulièrement après le dépôt de ces matériaux. Le suivi de ces mouvements apporterait une information importante quant au remplissage effectif du puits.

7.7. SYNTHESE SITE

SITE				Rue des Pissotes
			Chapitres du rapport	*Site de la route des pissotes*
ALEAS présents sur SITE	Effondrement de vou	remplissage des cavités	*Epaisseur du toit de la cavité (nature)*	*13m (nord) et 10m (sud)*
			EAU (m^3)	40
			AIR (m^3)	(s.o.)
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)	GF8 GF1 G1
	Tassement Débourrage	*associé aux puits :*		
	Cône d'effondrement	*associé aux puits ou cavité de :*		Cavités GF3, GF1 et G1
ENJEUX inventoriés	Primaires sur cavité (Enjeux sur site)			Route communale
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)			
	Secondaires sur cône			
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	Action proposée par ordre indicatif de priorité			Information Limitation tonnage
	Remédiation envisageables, prérequis			Investigation complementaire (parcelle 1BW0112).
	Techniques de remédiations			Déplacement de l'enjeu, Remblaiement, Filet sous œuvre ou pontage partie sud
	Contrainte traitement eau			NON
	Interdépendances des sites			A
	Propriétaire			Commune

8. Site du puits du Saillant

Le site du Saillant concerne en premier lieu un enjeu routier, la route départementale D148, des parcelles bâties peuvent être également impactées (Figure 144). Ce secteur n'a pas fait l'objet de l'étude préliminaire de 2014.

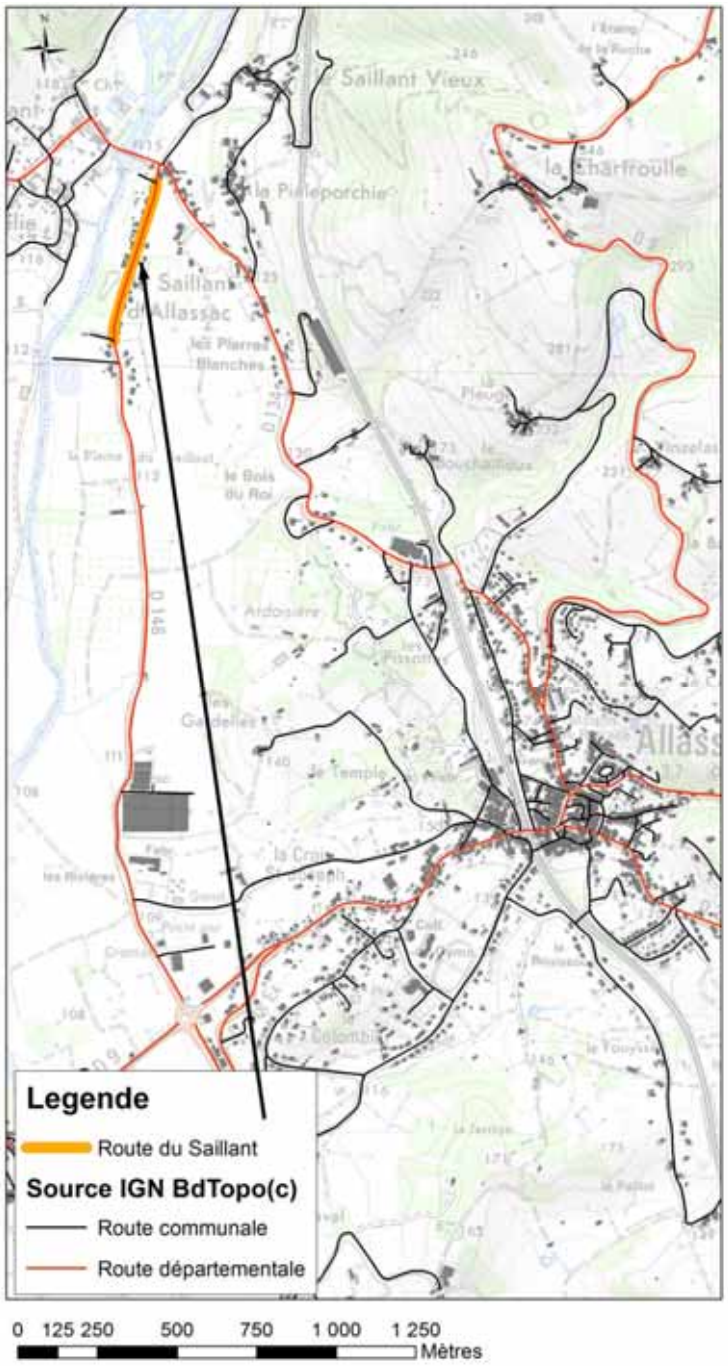


Figure 144 : Localisation du site à enjeux, D148

Sur le terrain du Saillant, la formation schisteuse n'affleure pas clairement, à l'exception de la bordure du puits situé le plus au sud. Cet affleurement est décrit en détail dans la partie Contexte géologique ci-dessous.

Deux puits en eau sont encore visibles aujourd'hui sur le terrain, dont l'un est rempli d'eau claire et l'autre d'eau colonisée par des végétaux. Une « tranchée » est visible dans les remblais (elle a pu être aménagée avant la mise en place des remblais et n'aurait donc pas été excavée, d'où une appellation peut-être incorrecte de tranchée) ; elle masque un troisième puits qui est vraisemblablement remblayé aujourd'hui. Ce troisième puits est le plus proche de la cavité auscultée au sonar.

Figure 145 : Localisation des puits et tranchée (contenant un puits masqué)

8.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le site ardoisier du Saillant a exploité des filons de schiste qui ne sont pas identifiés dans la nomenclature des filons du site principal d'Allassac qui se situe près de la gare. Il est toutefois très probable qu'ils soient en continuité. Le site bénéficie d'une schistosité d'orientation NW-SE, identique au site principal d'Allassac.

Le sondage S12 réalisé sur le site du saillant, présente jusqu'à 3,90 m de profondeur, des sables argileux et des graves sableuses. Il s'agit probablement des alluvions de la Vézère qui s'écoule à 100 m environ à l'Ouest de sondage. Viennent ensuite des schistes altérés jusqu'à une profondeur de 6 m. Les schistes compacts noirs occupent le reste du forage jusqu'à 24,30 m où le sondage recoupe une cavité en eau. L'ensemble de la longueur de forage est occupée par les schistes compacts noirs. Un ralentissement progressif de la vitesse de foration, de la côte 7 m à la cote 14 m du forage, peut correspondre à une altération dégressive des schistes en allant vers le bas. Les vitesses d'avancée de l'outil resteront ensuite constantes jusqu'à la découverte d'une cavité à 20 mètres de profondeur.

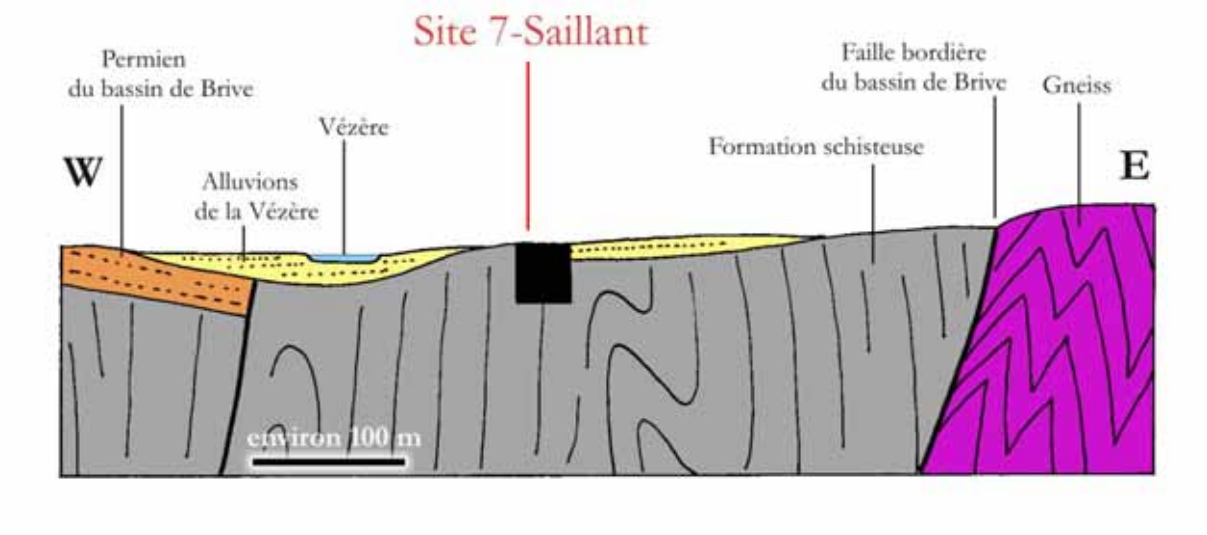


Figure 146 : Localisation du site Saillant sur une coupe géologique E-W interprétative.

Un seul affleurement, situé en bordure du puits situé le plus au sud, permet de voir clairement la formation schisteuse. Cet affleurement montre une schistosité d'orientation NW-SE porteuse d'une linéation inclinée de 10 degrés environ sur le nord. Cette configuration de schistosité et de linéation est identique à la configuration du site principal d'Allassac dont il se situe dans la continuité. Il existait probablement avant l'exploitation ardoisière un affleurement schisteux. Cet affleurement devait mesurer 150 m dans sa plus grande extension N-S et 70 m sur son extension E-W. Il est actuellement entièrement recouvert par les déblais de l'exploitation.

A l'Est de la route on se situe immédiatement sur les alluvions récentes de la Vézère. Ces alluvions, constituées de sables et de galets dans une matrice majoritairement argileuse, ont une épaisseur d'environ 4 m dans le forage.

Ces formations meubles alluvionnaires ne sont reconnues que sur le site du Saillant étant associées à la rivière. En revanche elles forment un faciès géologique dont les caractéristiques mécaniques peuvent être défavorables dans l'hypothèse de la mise en place d'un profil d'équilibre lié à un éventuel cône d'effondrement.

Figure 147 : Affleurement visible dans le puits le plus au sud (eau verte)

8.2. ETAT DES CONNAISSANCES

A cause de la Vézère, l'exploitation aurait été limitée dans le temps, les contraintes d'exhaure des eaux souterraines ayant grévé les couts d'exploitation.

L'habitant en face du terrain investigué nous a mentionné que l'exploitation s'est donc arrêtée très tôt (vers les années 30) ; il ne l'a pas connue en activité. Il existe 3 puits, tous en eau (en hiver seulement pour le puits associé à la tranchée de plus grande extension Figure 145). Parmi les puits encore visibles, le puits principal est celui au milieu des acacias (celui où reposerait une voiture, 4L ou 2ch). Celui le plus proche de la route (masqué dans la tranchée) sert encore et aurait servi de décharge pour des déchets verts.

Les photographies aériennes de 1950 (Figure 148) ,1963 (Figure 149) ou 1970 (Figure 150) ne montrent pas de trace de remblais d'exploitation hors des parcelles 1CD0301 (contenant les trois puits recensés sur le secteur) et 1CD0302. Les photos aériennes de 1950 et 1963 montrent, une quelques dizaines d'année après l'arrêt d'exploitation, des remblais de l'exploitation qui recouvrent probablement l'extension originelle de l'affleurement toujours en place sur ces parcelles.

Figure 148 : Photo aérienne de 1950, emprise des puits et de la cavité investiguée

Figure 149 : Photo aérienne de 1963, emprise des puits et de la cavité investiguée

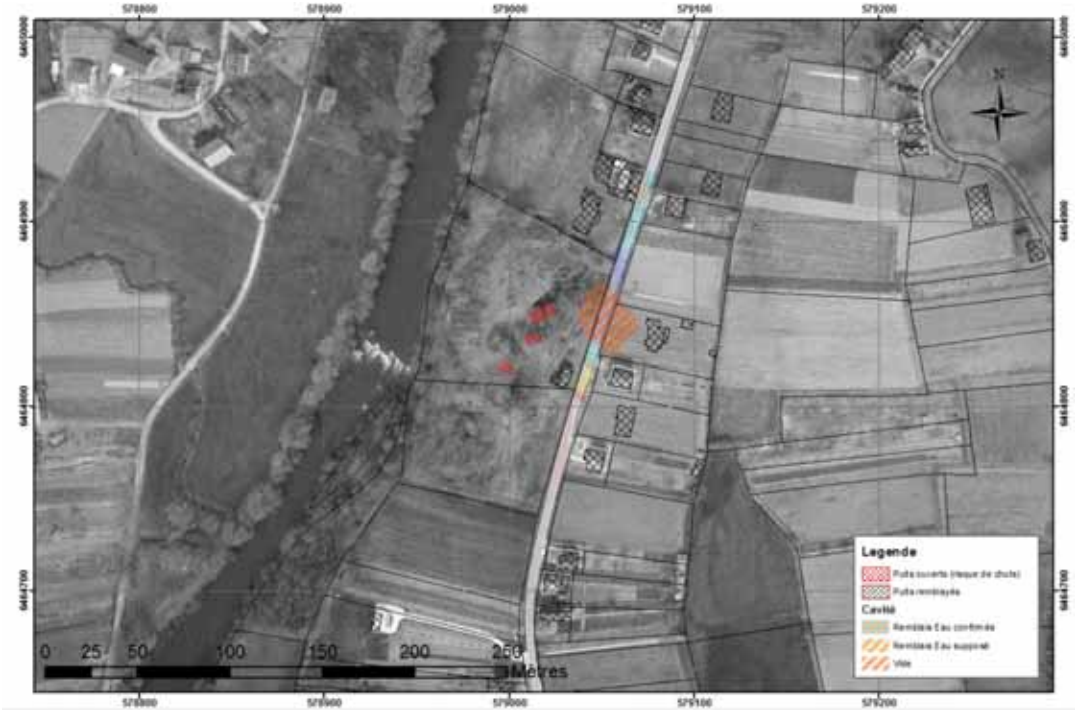


Figure 150 : Photo aérienne de 1970, emprise des puits et de la cavité investiguée

Contexte historique du site du Saillant

Aucun témoignage recueilli ne fait état de mouvement de terrain passé sur ce site. En revanche la tranchée située au nord et pour laquelle un puits est supposé associé, a été observée en eau dans un passé récent et l'absence d'eau actuelle peut être le résultat de son remblaiement permanent par des déchets supposés inertes.

8.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR SITE

Campagne de géophysique

Une étude microgravimétrique a été réalisée afin d'identifier un aléa éventuel lié aux trois puits identifiés à proximité de la route. L'ensemble des points de mesure ont été effectués à partir de la route. La Figure 151 présente une anomalie négative particulièrement marquée à côté du puits le plus proche de la route (A10) ; une deuxième anomalie est relevée plus au nord (A11).

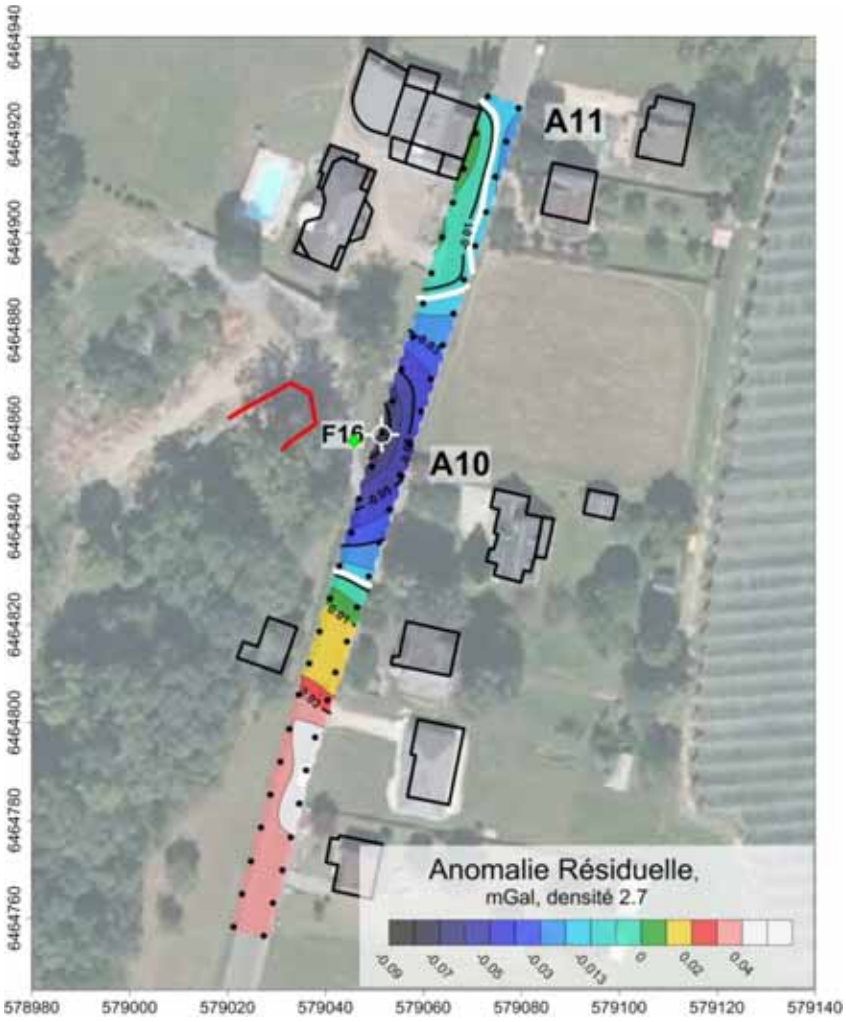


Figure 151 : Anomalie microgravimétrique résiduelle sur la route du Saillant

Réalisation de sondages

Un sondage a été réalisé en bordure de la route, côté ouest (vers les puits), dans l'emprise de l'anomalie négative A10 (sondage S12). En raison de contrainte techniques et d'accessibilité, le sondage a été légèrement excentré et incliné de 4° vers le centre de l'anomalie µgravimétrique.

Figure 152 : Localisation du sondage S12

Figure 153 : mise en place de la sondeuse, site du Saillant

Le sondage S12 a recoupé une cavité à une profondeur de 24,30 m.

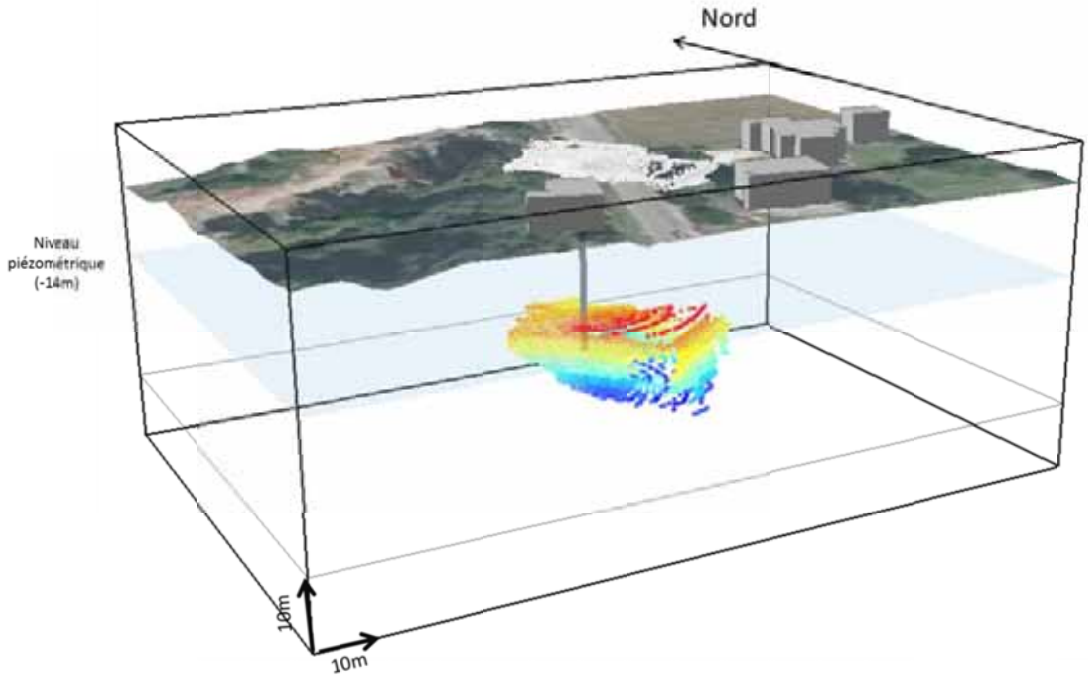


Figure 154 : Schéma de localisation de la cavité rencntrée à 24.3m

Dimensionnement de la cavité

Un levé au sonar a été effectué dans le sondage. Une cavité d'environ 3935 m^3 a été interprétée (Figure 155). Le point le plus proche de la surface est à 22,1 m de profondeur par rapport au sol au niveau du sondage (le terrain étant quasiment plat, nous considérons que c'est l'épaisseur minimale de recouvrement).

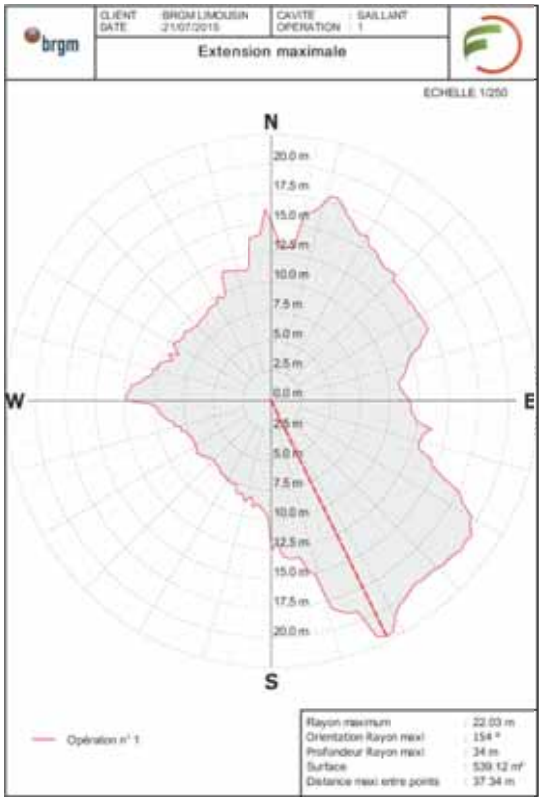


Figure 155 : Extension maximale de la cavité auscultée d'après l'interprétation du sonar

Un plan de la cavité interprétée par Flodim (l'entreprise ayant réalisé le sonar et son interprétation) a été géoréférencé à l'aide de la position du sondage. Le report de ces plans et levés permet de voir la position relative de la cavité interprétée par rapport aux enjeux.

Remarques :

- *les mesures au sonar ne sont faites qu'à partir d'un axe (celui du sondage) ; des parties de la cavité peuvent donc être masquées et rester inconnues ;*
- *la précision de la position du sondage est métrique, un levé au DGPS serait nécessaire pour obtenir une incertitude plus petite.*

Figure 156 : Localisation de la cavité interprétée par rapport aux enjeux

La route est donc sous-cavée sur une longueur d'environ 30 m. Les bâtiments ne seraient pas directement sous-cavés par cette cavité, sous réserves qu'il n'y ait pas de parties masquées invisibles au sonar (voir ci-dessus).

8.4. ANALYSE DE L'ALEA SUR LE SITE DU SAILLANT

Selon le logigramme d'interprétation des sites d'exploitation, le site sous la route et les bâtiments présentent la typologie suivante : A - (2 - j, k). Les enjeux identifiés sur le site du Saillant sont de deux types. Il y a tout d'abord, les enjeux humains, liés à la circulation des personnes aux abords des puits et de la tranchée. Il y a ensuite les enjeux liés aux infrastructures et au bâti qui sont de deux types, la route et le bâti destiné à l'habitation.

Seule la route a pu être investiguée (accès non autorisée à la parcelle). Les données acquises concernent la route et les habitations où les aléas chute de voûte et cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sont présents.

Intensité des phénomènes redoutés

La chute de voûte est à un niveau d'intensité élevé (extension supérieure à 80² jusqu'à 21 m de portée dans la partie sud de la cavité reconnue -cf Figure 10). Le niveau d'intensité pour l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre est élevé dans la zone.

Prédisposition aux phénomènes redoutés

Avec une portée de plus de 10 m sur toute l'emprise de la cavité, pour une épaisseur de recouvrement de 22 à 24 m (dont plusieurs mètres d'alluvions), et des matériaux d'altération variable et en l'absence de failles, la prédisposition à l'effondrement de voute retenue est sensible.

En termes de probabilité d'occurrence de l'effondrement de la voute, il n'y a pas de série historique permettant d'élaborer une gamme de période. A 10 ans la rupture est peu probable, en revanche à 100 ans elle est probable. Le site des ardoisières d'Allassac (secteur Pissote) a connu 3 évènements sûrs d'effondrement de voute, en 1902, 2011 et 2014. En 2015 des signes d'effondrements de voute se manifestent en B3.

La prédisposition au phénomène de cône d'effondrement est directement associée à la prédisposition au phénomène d'effondrement de voute, et est donc ici estimée sensible.

Evaluation des aléas sur le site du Saillant

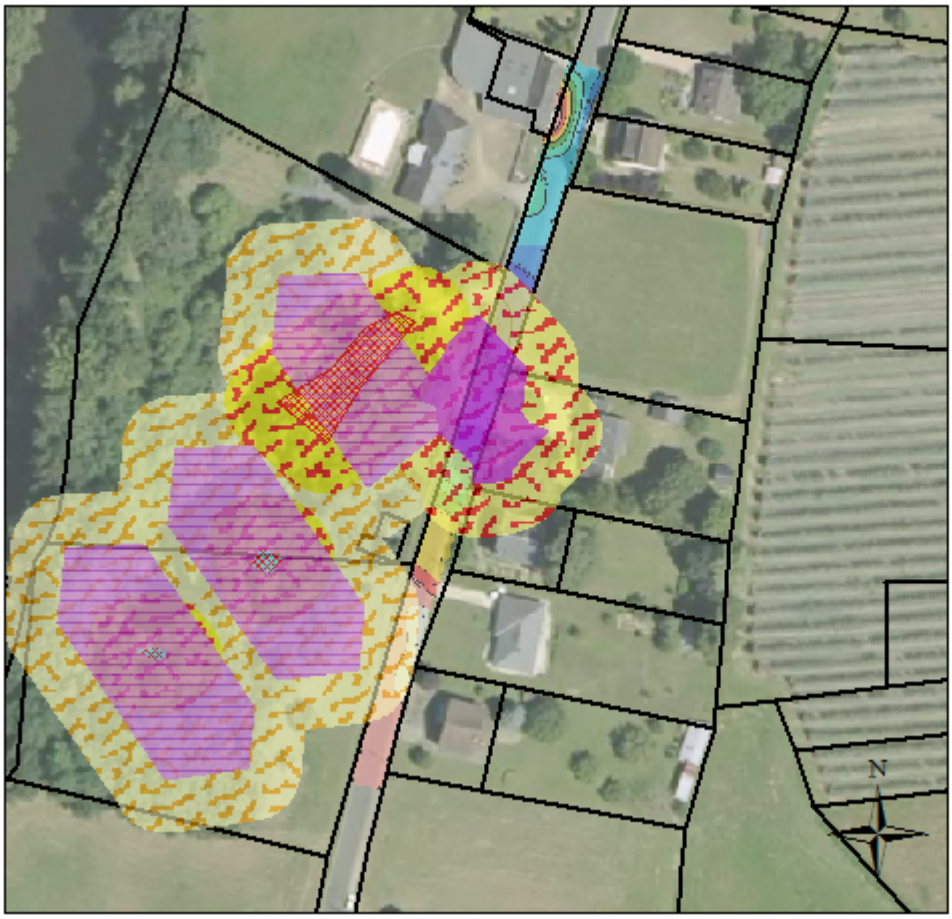
Les tableaux ci-dessous présentent les matrices de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site du Saillant.

	Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité	***Effondrement de voûte***			
Elevé	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA FORT**	ALEA TRES FORT
Très Élevée	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT	ALEA TRES FORT
Classe d'intensité	***Cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	**ALEA FORT**	**ALEA FORT**

Les aléas chute de voûte et cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sont donc tous deux retenus avec **un niveau fort.** La route est exposée aux deux aléas. Les deux bâtiments les plus proches sont exposés à l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre sur une hypothèse d'une pente d'équilibre à 100 %.

Risques identifiés

Du fait de la présence de deux habitations et d'une départementale à forte fréquentation *(à confirmer par des données quantifiées)* dans la zone d'aléa, le risque mouvement de terrain est élevé. Une diminution de l'aléa ou des enjeux diminueraient ce risque, elle consisterait à combler le vide représenté par la cavité.



Legende

Parcellaire (BdParcellaire 2010)

Puits d'accès aux cavités

Puits ouverts (risque de chute)

Aléas

Aléa très fort - Chute de voute (emprise observée)

Aléa très fort - Chute de voute (emprise déduite par µgravimétrie)

Aléa très fort - Chute de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)

Aléa très fort - Tassement/Débourrage

Aléa très fort - Tassement/Débourrage (Puits non localisé)

Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)

Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))

Figure 157 : Carte de l'aléa sur le site du Saillant

8.5. REMEDIATION ENVISAGEABLE

Mise en sécurité immédiate

Le site de la route du Saillant présente deux typologies d'enjeux :

- La première concerne la voirie départementale (D148) qui peut être déviée
- La seconde concerne les parcelles bâties voisines
    - L'une est impactée par l'aléa de chute de voute pour une part du jardin associé. La maison est dans l'aire de l'aléa lié au cône d'effondrement
    - L'autre est impactée par le seul l'aléa lié au cône d'effondrement pour une part de son jardin

Les deux parcelles doivent être informées des aléas existants et des risques associés.

Traitement de l'aléa

Le traitement du risque par remplissage du vide (ou comblement) représentent une solution de traitement définitive (pérenne à long terme) de la cavité souterraine. Le volume à combler est de 4000 m^3 environ. Le traitement de cet aléa permettra de lever les risques pour les trois enjeux décrits au-dessus, la voirie et deux parcelles à usage d'habitation.

Traitement des enjeux

L'enjeu RD148 peut être 'déplacé' en réalisant un pontage. La portée de la cavité (+-20 mètres) autoriserait la mise en place d'un pontage de la route. En permettant de suspendre la voie « au-dessus » des terrains naturels cela effacera le risque d'effondrement de la voie. Cette remédiation en revanche ne traite pas l'aléa au regard des autres enjeux présents et notamment le jardin de la parcelle bâtie voisine et l'extension d'un potentiel cône d'effondrement.

Le risque de mouvement de terrain en l'état actuel du site peut également être amplifié par des travaux affectant le toit de la cavité. Cela imposera une surveillance particulière du site et une mise en sécurité des biens et des personnes au droit de la cavité souterraine reconnue.

8.6. SUIVI DE SITE

Il n'y a pas de suivi particulier du site à mettre en place à l'exception de la surveillance régulière de la tenue de la voie actuelle. Il n'existe pas d'indicateurs permettant d'anticiper un mouvement de la voute de la cavité dans ce contexte géologique. L'observation directe d'indices de mouvement dans la cavité (par exemple flambage des schistes,…) est impossible.

8.7. SYNTHESE SITE

SITE				Route du Saillant (D148)
			Chapitres du rapport	*Site du puits du Saillant*
ALEAS présents sur SITE	fondrement de vou	remplissage des cavités	*Epaisseur du toit de la cavité (nature)*	*17.7m (schistes sains) - 24.3m (alluvions et schistes)*
			EAU (m^3)	3935
			AIR (m^3)	(s.o.)
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)	
	Tassement Débourrage	*associé aux puits :*		
	Cône d'effondrement	*associé aux puits ou cavité de :*		Cavité du Saillant
ENJEUX inventoriés	Primaires sur cavité (Enjeux sur site)			Route départementale
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)			parcelle jardin habitation
	Secondaires sur cône			parcelle jardin & bâti
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	Action proposée par ordre indicatif de priorité			Information Déviation Limitation tonnage
	Remédiation envisageables, prérequis			Oui
	Techniques de remédiations			Remblaiement, Pontage, Déplacement des enjeux (déviation totale ou partielle)
	Contrainte traitement eau			OUI
	Interdépendances des sites			A
	Propriétaire			Département

9. Site de la Chartroulle

Le site de la Chartroulle est localisé au nord du hameau du même nom. Ce secteur n'a pas fait l'objet de l'étude préliminaire de 2014.

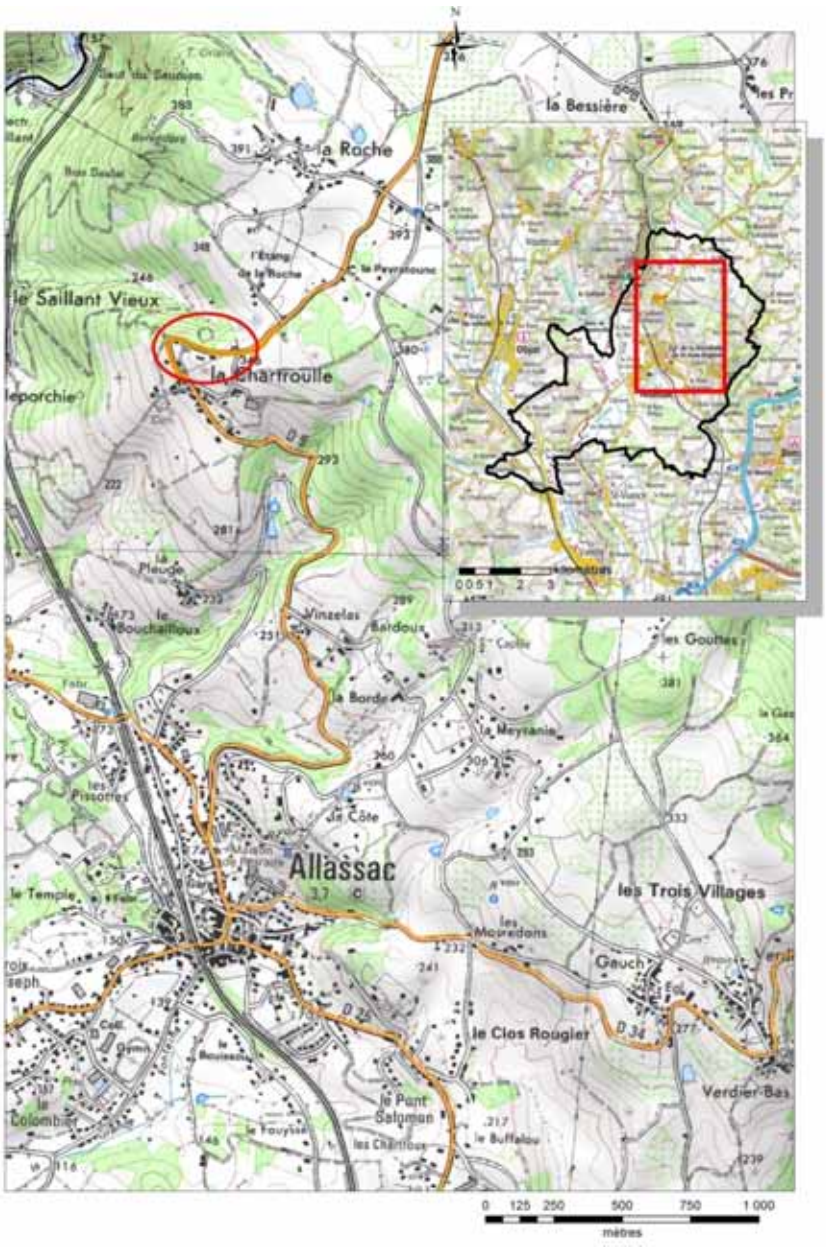


Figure 158 : Schéma de localisation du site de la Chartroulle, commune d'Allassac

Les travaux anciens présentent une cavité dont une extrémité est ouverte. Un puits d'exploitation vertical au droit de la cavité, à quelques mètres de la route, complète le dispositif d'extraction. Il s'agit d'un site où une cavité est accessible par deux puits.

La topographie du terrain permet un accès quasi horizontal par l'intermédiaire du puits nord et un accès vertical par le puits supérieur (Figure 162).

Figure 159 : Localisation des puits et tranchées

9.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le site de Chartroulle se situe sur une formation géologique différente du site de la gare à Allassac et du site du Saillant (Figure 160).

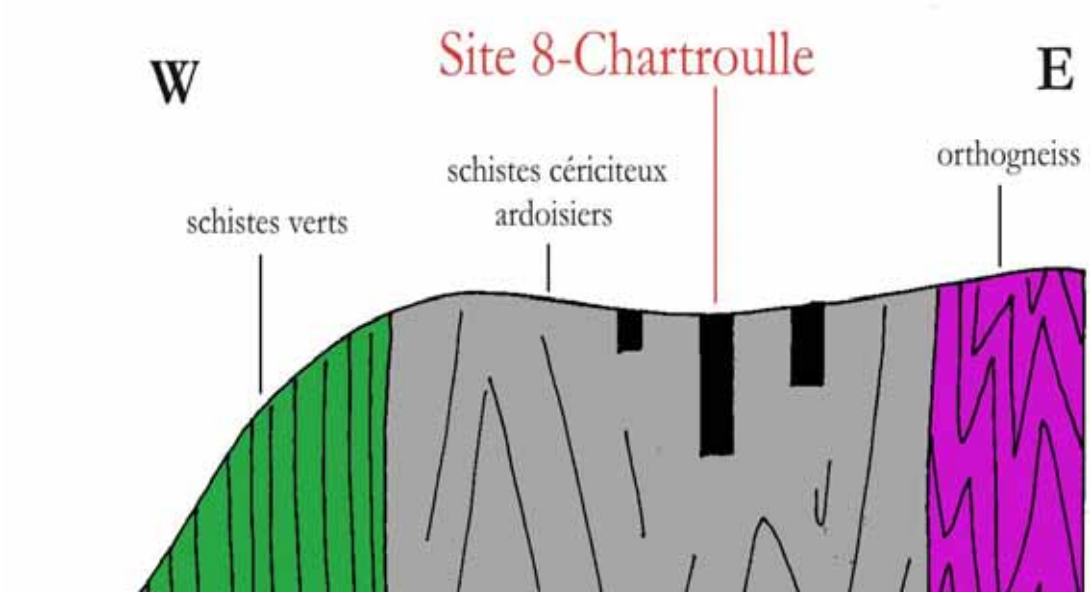


Figure 160 : Localisation du site de Chartroulle dans une coupe géologique E-W interprétative.

Il s'agit de schistes cériciteux gris foncé et métagrawackes litées à grain fin dans lesquels s'intercalent des schistes ardoisiers (Groupe du Bas-Limousin, Cambrien-Moyen et Supérieur). La série globalement orientée NW-SE à une épaisseur de 500 m environ, l'intercalaire schisteux ardoisier a une épaisseur de 100 mètres environ. Il a une schistosité sub-verticale et une linéation à inclinaison sud de 20 degrés environ.

Le schiste de Chartroulle exploite les mêmes formations géologiques que le site de Travassac. Ce dernier présente de très bonnes qualités pour la fabrication de produits rustiques épais[15]. Les filons ardoisiers (pierre fine) sont très tranchés par rapport au marme[16] encaissant ; ce qui n'est pas le cas d'Allassac où la distinction en la pierre fissile et le marme n'est pas toujours évidente. Par ailleurs, le schiste d'Allassac est plus fragile du fait d'un longrain très prononcé. En particulier, le repartonnage à la masse (débitage de blocs bruts), tout à fait réalisable à Travassac est plus délicat à Allassac secteur Pissotes car il donnerait principalement des produits longs et peu larges (cassure préférentielle le long du longrain). Au contraire, le schiste d'Allassac est plus propice à une mécanisation (sciage au disque des repartons) facilité par une dureté moindre) et tranchage aisé le long du longrain.

Il semble qu'il ait existé trois ''veines'' (Figure 161) qui ont fait l'objet d'une exploitation ou de reconnaissances. La cavité plus particulièrement étudiée se situe à l'ouest du faisceau ardoisier. Il s'agit de la seule veine pour laquelle une anomalie continue a été reconnue par la géophysique.

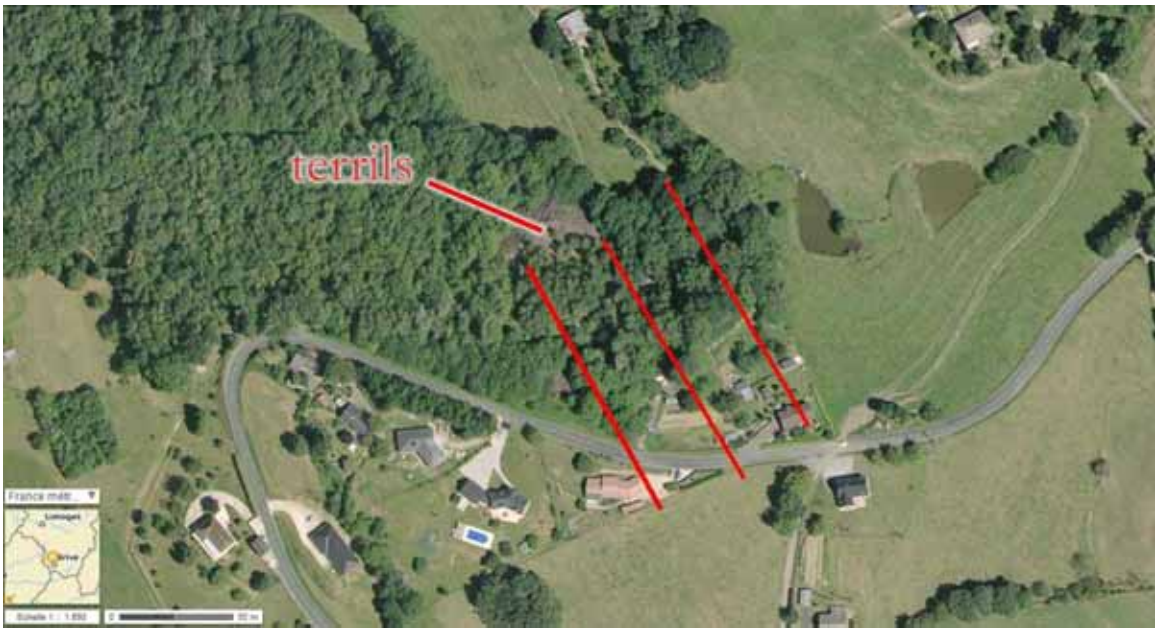


Figure 161 : tracé approximatif des veines ardoisières du site de La Chartroulle.

[15] Relance de l'activité ardoisière dans le bassin d'Allassac et Travassac Étude technico-économique d'un projet artisanal BRGM/Ref 84 AGI 361 LIM

[16] Marme franc : quartzite massif d'aspect gréseux clair et verdâtre, contenant souvent des exsudations de quartz. Non fissile, ce matériau est absolument stérile.

- le Marme à fendants : roche au grain un peu plus fin que la précédente, montrant de fins lits plus ou moins espacés qui sont des plans de fissilité. Ce matériau est susceptible de produire du dallage.

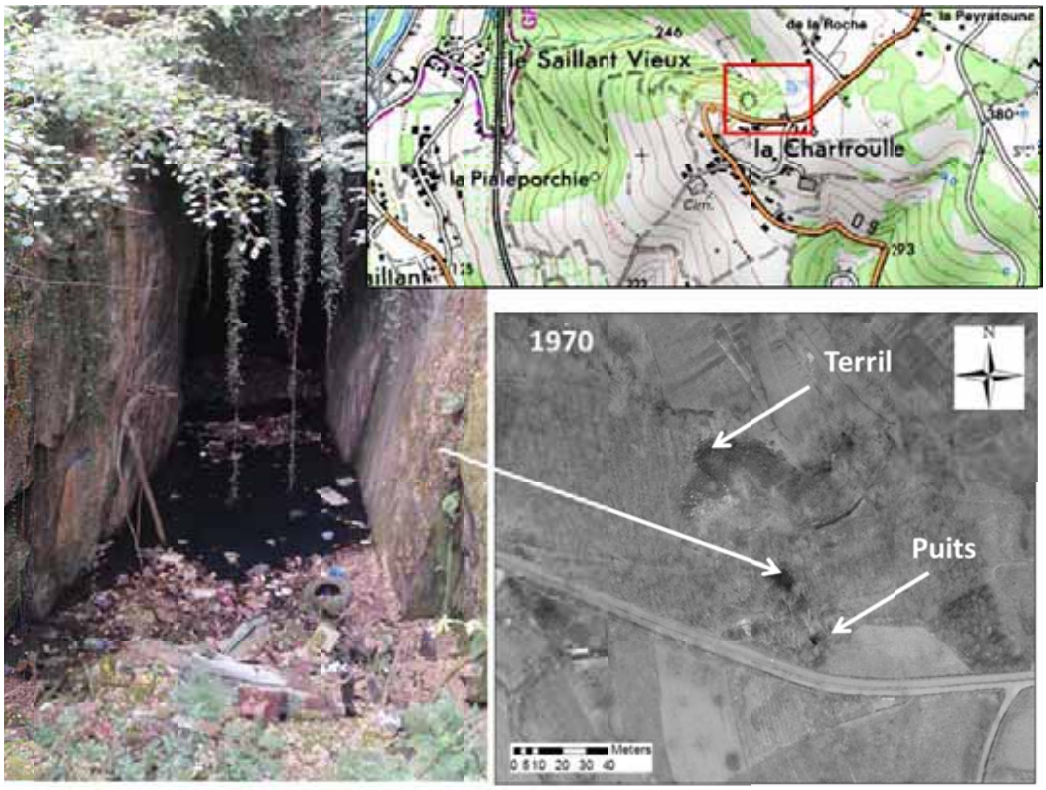


Figure 162 : A gauche : entrée de la cavité visible sur le sentier de la Chartroulle. En haut à droite : Localisation du site sur la carte IGN. En bas à droite : photo aérienne de 1970. Le droit du toit de la cavité est bien visible, ainsi que le puits d'exploitation ouvert. La présence d'énormes tas de stériles confirme la présence d'une chambre d'exploitation.

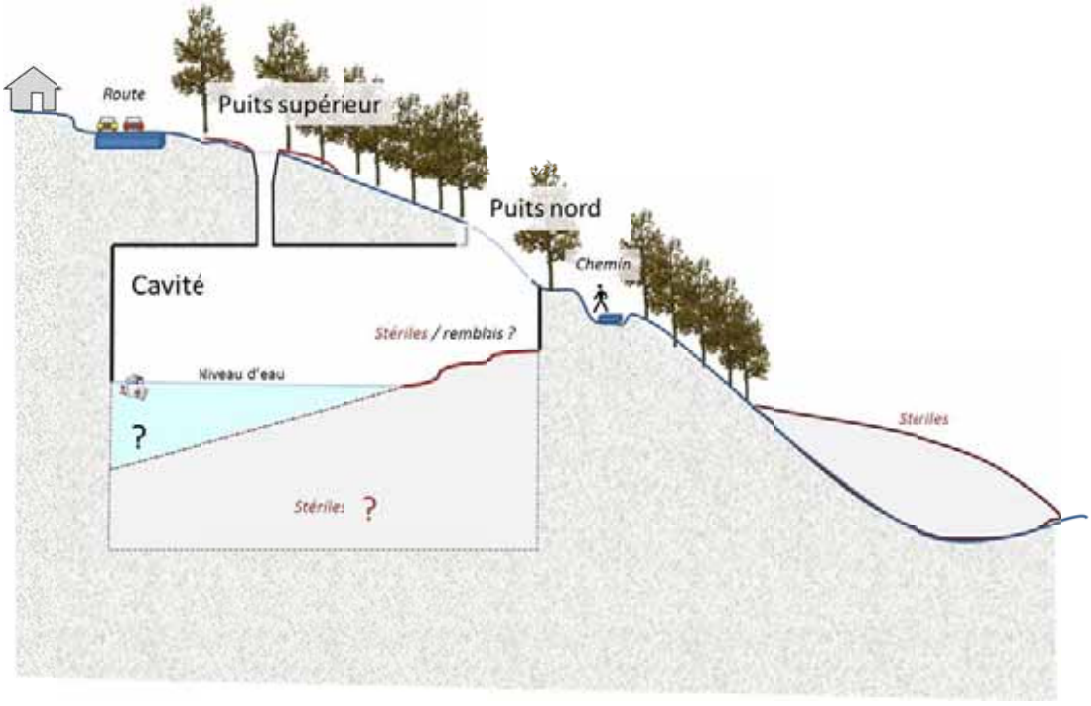


Figure 163 : Schéma d'interprétation de la cavité de Chartroulle

Le toit de la cavité est constitué au maximum d'une dizaine de mètres de schistes sans remblais.

Cette organisation, associée au tas de stériles amoncelé au nord, laisse supposer que la cavité était exploitée d'abord à ciel ouvert en tranchée, puis prolongée horizontalement. Les blocs étaient extraits par la tranchée puis transportés au lieu de taille (au niveau des tas de stériles). Lorsque la cavité est devenue trop profonde, le puits vertical a dû être creusé afin de permettre une sortie plus facile des blocs. Un autre tas de stériles à gauche du puits d'extraction sur la photo de 1970, Figure 162, laisse d'ailleurs supposer qu'un atelier de taille était installé à côté de ce puits.

9.2. ETAT DES CONNAISSANCES

Appliqué au site de Chartroulle, la notification **de l'état actuel** est : A - 1 – k

A – la cavité et les puits sont ouverts et accessibles

1 – d'après les données historiques (témoins/habitants), il a existé des remblais au puits nord. Ils se sont tassés d'une dizaine de mètres découvrant la paroi nord de ce puits et une partie est visible en pied de parois.

(k) –toujours au pied du puits nord, un cône d'effondrement semble marqué dans les remblais en place

La notification des **évolutions possibles** de ce site sont : A – 1,2 – i, j, k

A – la cavité et les puits restent ouverts et accessibles

1 - les remblais du puits nord peuvent poursuivre leur tassement

2 – la chute de la voute de la cavité est envisageable (cf analyse intensité, activité, prédisposition)

(i, j, k) – les parois des puits et cavités sont composées en partie de remblais avec une possible évolution des profils d'équilibre des terrains encaissants.

Contexte historique du site de Chartroulle

Les informations historiques du site ont été recueillies auprès d'un habitant de la Chartroulle dont les grands-parents travaillaient dans cette carrière. Il indique une « cavité profonde d'une centaine de mètres, où on y descendait par échelle ».

« La carrière de la Chartroulle était déjà exploitée avant la Première guerre mondiale. Elle faisait la richesse de la commune et a permis aux habitants de subsister pendant la guerre ainsi que de construire leurs maisons, ce qui était rare à l'époque. Le petit village fut même un des premiers raccordés à l'électricité en 1921 afin de poursuivre l'exploitation de la carrière. Une fois l'exploitation arrêtée, la cavité a servi de décharge pendant une trentaine d'années. Les gens y jetaient leurs déchets, leurs animaux morts. Certains parlent également de produits chimiques déversés pendant la nuit. Un tas de 10 m de haut était amassé au niveau du puits. Depuis l'interdiction d'utiliser le site comme décharge, il y a 10 ans, l'amoncellement de déchets s'est tassé (illustré par la fig. 3). »

9.3. INVESTIGATIONS MENEES SUR SITE

La cavité de Chartroulle a fait l'objet d'une investigation directe par le GRIMP 19 – Groupe de reconnaissance et d'intervention en milieu périlleux de Corrèze. Ce secteur compose le seul site dont la reconnaissance directe était possible pour :

- l'acquisition d'une connaissance plus fine des terrains, de leur état d'altération et des traces de technique d'exploitation de ces matériaux ;
- l'évaluation du risque auquel les populations susceptibles de s'aventurer à proximité de ces cavités et également les acteurs de terrains de cette étude sont exposées ;

Dans un contexte d'accès périlleux, la reconnaisance préalable du GRIMP était incontournable, elle a été mise en œuvre en juin 2015 dans le cadre des entrainements de terrain du GRIMP 19. Les travaux de terrains ont permis après un premier dimensionnement de la cavité :

- la reconnaissance d'un puits proche de la route et présentant un risque de chute important. Ce puits n'étant pas cloturé ou matérialisé.
- de mettre en évidence la relation entre puits et cavités dont la connexion était invisible depuis le chemin d'accès (Figure 164).

Figure 164 : Vue de la cavité de Chartroulle, coté chemin

A la suite de cette campagne de reconnaissance visuelle et de l'état des lieux des risques liés à l'accès au puits et cavité, une campagne de mesure des volumes en place a été réalisée.

Campagne de microgravimétrie

Cette campagne de mesure a permis de mettre en évidence l'extension probable de la cavité sous la route. Dans le contexte de Chartroulle, la qualité médiocre du modèle numérique de terrain (pas de 25m) nécessitait un complément d'investigation par laser et optique.

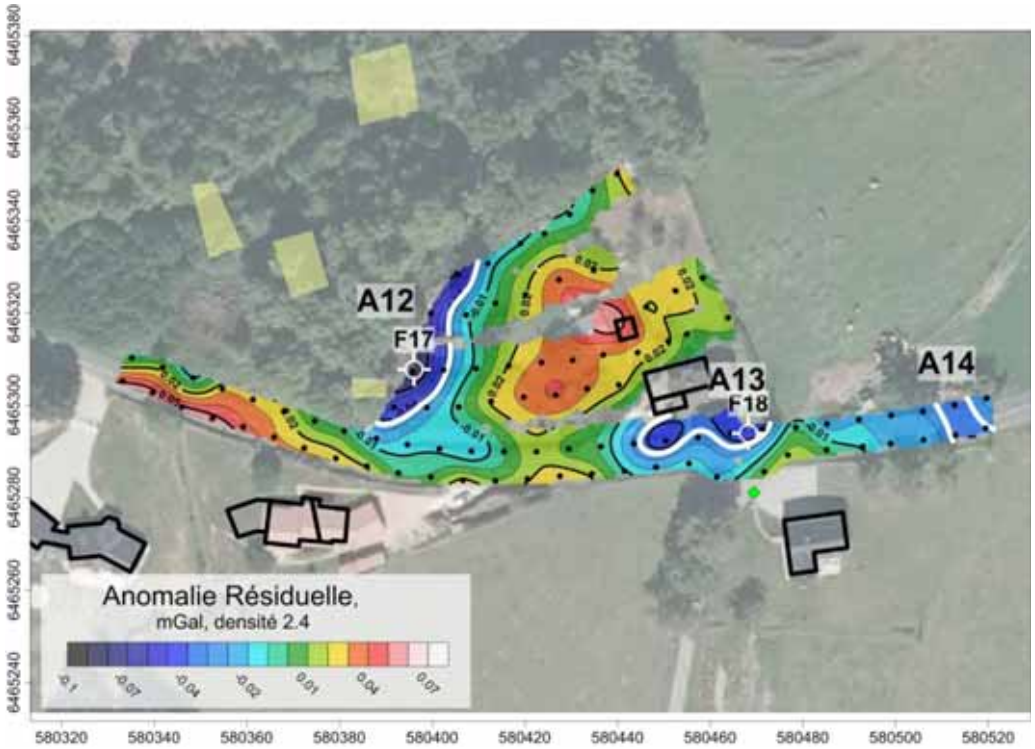


Figure 165 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone de la Chartroulle. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

L'anomalie résiduelle obtenue (Figure 165), présente trois anomalies significatives, A12, A13 et A14. L'anomalie A12 est la plus importante, atteignant -0,085 mGal, alors que les anomalies A13 et A14 atteignent -0,045 et -0,040 mGal, et présentent de plus faibles emprises en surface. L'anomalie A12 est non circonscrite, et présente un gradient qui se développe dans la direction des indices de puits observés.

Réalisation de sondages

Il n'a pas été réalisé de sondage sur ce site au regard de ''l'accessibilité'' de la cavité.

Dimensionnement de la cavité

- ***Campagne laser***

Une sonde laser Explorer munie d'une caméra a été descendue par le puits d'exploitation. La mesure a été rendue particulièrement difficile par les conditions d'accès au puits ainsi que par la grande proximité de la sonde de la paroi, ce qui a limité les tirs vers le sud-ouest. Le zéro a été réalisé approximativement et la sonde laser n'a pu être déportée suffisamment pour la placer au centre du puits. Le volume situé sous le niveau d'eau n'a pas été investigué, la sonde

étant confrontée soit à une « marche » à 1 m sous la ligne d'eau, soit à la présence de nombreux déchets flottants.

- **Caractéristiques du relevé laser**

Hauteur de la cavité dans l'axe du puits :		environ 27.0 m
Volume laser reconnu de la cavité :		3 361 m3
Profondeur du point le plus haut mesuré de la cavité :		4.32 m
Profondeur du point le plus haut de la cavité dans l'axe de la sonde :		4.32 m
Profondeur du point le plus bas mesuré de la cavité :		31.0 m
Profondeur du point le plus bas de la cavité dans l'axe de la sonde :		31.0 m
Référence de la profondeur en surface :		sol/bride
Rayon maximum mesuré lors de l'opération :		30.5 m
(à la profondeur de 22.0 m, dans l'azimut 126°)		
Nombre de coupes horizontales acquises :		3
Nombre de coupes inclinées acquises :		85
Équipements Flodim :	Unité mobile Fourgon	Sonde laser 1

- **Résultats**

88 coupes ont été réalisées pour ausculter la cavité, soit plus de 15 000 points d'acquisition. Le volume obtenu après interprétation est d'environ 3 361 m^3.

La Figure 166 illustre la morphologie de la partie aérienne de la cavité. Le puits forme un conduit d'au moins 15 m avant d'atteindre la cavité. Celle-ci présente les dimensions suivantes pour la partie aérienne : 40 m de long, 12 m de large, 27 m de haut.

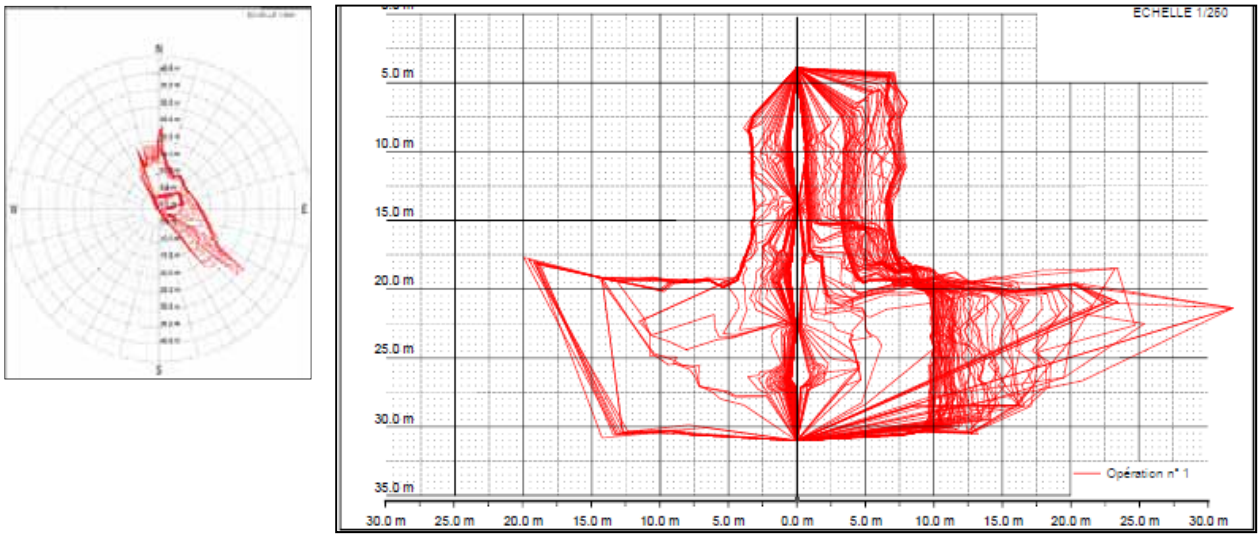


Figure 166 : Superposition des coupes horizontales et verticales réalisées sur la cavité de la Chartroulle.

Toutes les sections ont été orientées par rapport au Nord magnétique grâce à la boussole intégrée dans la sonde laser. La galerie présente un départ en direction du Sud-Est, illustré par la Figure 163, avec des tirs à environ 30 mètres dans cette direction. La superposition des coupes ainsi que les modèles 3D sont disponibles en annexe 3.

L'association du modèle 3D de la cavité et des photographies réalisées lors de la descente de la sonde, Figure 167, s'accorde parfaitement à la morphologie historique des exploitations d'ardoise à Allassac :

- Une cavité rectangulaire orientée suivant l'axe de la schistosité, de dimensions avoisinant les 40 m de long, 10-20 m de large avec une hauteur pouvant dépasser 25 mètres ;
- Un puits d'accès vertical de forme carrée, d'une dizaine de mètres de profondeur;

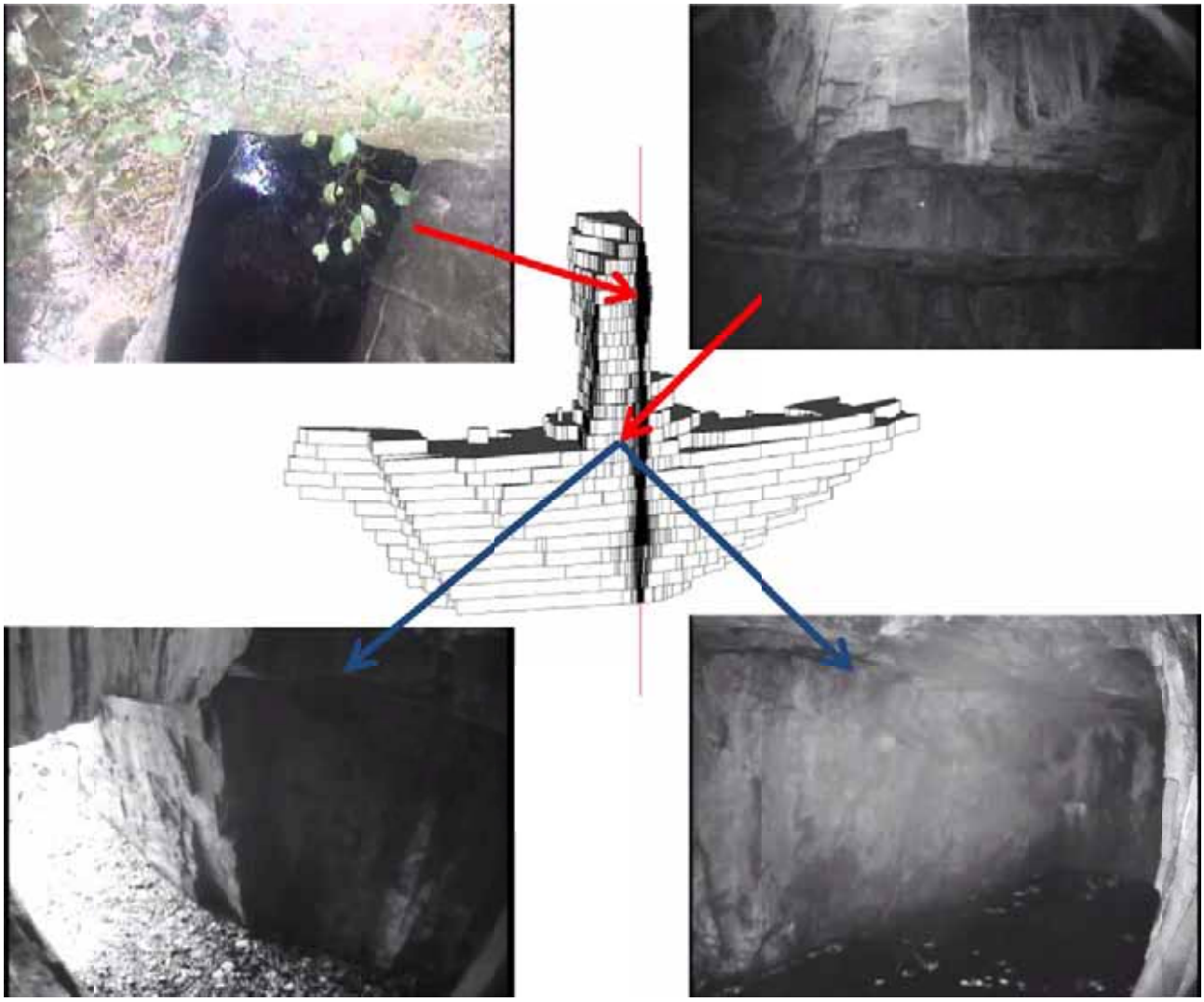


Figure 167 : Photos prises de l'exploration vidéo sur la cavité du site Chartroulle. Les flèches rouges correspondent aux images prises lors de la descente, les flèches bleues indiquent les photos, prises au toit de la cavité, des deux extrémités de la cavité En haut à gauche : vue d'en haut du puits vertical et de la paroi. En haut à droite : toit de la cavité en connexion avec le puits. En bas à gauche : limite nord-ouest de la cavité, ouverte sur l'extérieur. En bas à droite : extrémité sud-est de la cavité.

- Des parois maçonnées sur la partie ''aérienne'' du puits composée des stériles issus de l'extraction. Ces parois sont implantées sur le schiste, et sont élevées au fur et à mesure de la production de stériles au pied du puits d'extraction. La figure suivante illustre plus généralement cette accumulation de stériles auprès des puits sur les sites allassacois.

Figure 168 : accumulation des stériles au voisinnage immédiat des puits d'extraction

Ce dernier élément, qui caractérise la plupart des puits du site des Ardoisières à Allassac, n'est pas retrouvé sur le site de la Chartroulle. Les puits d'exploitation possèdent bien une ouverture carrée réalisée dans le schiste altéré de la voûte visible sur la Figure 167, mais ils semblent dépourvus de parois maçonnées. Le puits supérieur n'ayant pas été le moyen d'extraction principal de la carrière, il n'a sans doute pas eu besoin d'être maçonné.

D'autre part, le site de la Chartroulle n'a pas été soumis à une pression liée à un parcellaire et les chantiers de taille des ardoises pouvaient être distants des puits.

- **Interprétations des mesures laser**

Les mesures confirment les hypothèses de dimensionnement des cavités réalisées lors de l'étude précédente (40 * 20 m), ainsi que les archives issues de l'exploitation ardoisière.

En revanche, la profondeur des cavités au droit des puits indiquée dans les plans historiques ne correspond pas à celles retrouvées dans les chambres investiguées, réduites de moitié. L'hypothèse la plus vraisemblable consiste à supposer que la plupart des chambres a été partiellement remblayée.

En 2015, la cavité de Chartroulle est la seule qui ait pu être investiguée par un accès direct via un puits (L2 et M en 2014). Les autres puits étant soit remblayé ou en eau, les autres cavités de la commune sont inaccessibles, elles ont été investiguées par sondages de reconnaissance.

9.4. ANALYSE DE L'ALEA, SITE DE LA CHARTROULLE

Intensité des phénomènes redoutés

Les phénomènes de tassement ou débourrage de puits ne sont pas retenus

La chute de voûte est à un niveau d'intensité élevé à très élevé sur l'ensemble de l'extension de la cavité reconnue (extension sup à 80m²). Le toit de cette voute varie de 5 mètres au nord à 10 mètres sous la route. La hauteur de chute est de 25 mètres minimum.

Le niveau d'intensité pour l'aléa cône d'effondrement / reprise de profil d'équilibre est élevé, étant donné la nature des matériaux de surface.

Prédisposition aux phénomènes redoutés

Il n'y a pas de puits sur l'emprise géographique de route D9, le phénomène de tassement débourrage n'est pas envisagé sur la rue.

En termes de probabilité d'occurrence de l'effondrement de la voute sur ce secteur, il n'y a pas de série historique permettant d'élaborer une gamme de période[17] en revanche la prédisposition est très sensible au regard de l'épaisseur limitée des terrains de recouvrement (inférieur à 15m).

La mise en place de cônes liés à la recherche de profil d'équilibre a une prédisposition très sensible associée à la prédisposition aux effondrements de voute immédiatement voisins.

Evaluation des aléas sur le site de Chartroulle

Les tableaux ci-dessous présentent les matrices de croisement de l'intensité des mouvements et de la prédisposition des phénomènes, définition des classes d'aléa résultant pour le site de Chartroulle.

	Prédisposition très peu sensible	Prédisposition peu sensible	Prédisposition sensible	Prédisposition très sensible
Classe d'intensité	***Effondrement de voutes***			
Elevé	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA FORT	ALEA TRES FORT
Très Élevée	ALEA FORT	ALEA FORT	**ALEA TRES FORT**	**ALEA TRES FORT**
Classe d'intensité	***Cône d'effondrement reprise de profil d'équilibre***			
Très limitée	ALEA TRES FAIBLE	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE
Limitée	ALEA FAIBLE	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT
Modéré	ALEA MODERE	ALEA MODERE	ALEA FORT	ALEA FORT
Élevée	ALEA MODERE	ALEA FORT	**ALEA FORT**	ALEA FORT

Figure 169 ; proposition de qualification des aléas du site Chartroulle

La carte de l'aléa est présentée à la suite Figure 170

[17] A 10 ans la rupture est peu probable, en revanche à 100 ans elle est probable. Le site des ardoisières d'Allassac (secteur Pissote) a connu 3 évènements sûrs d'effondrement de voute, en 1902, 2011 et 2014. En 2015 des signes d'effondrements de voute se manifestent en B3.

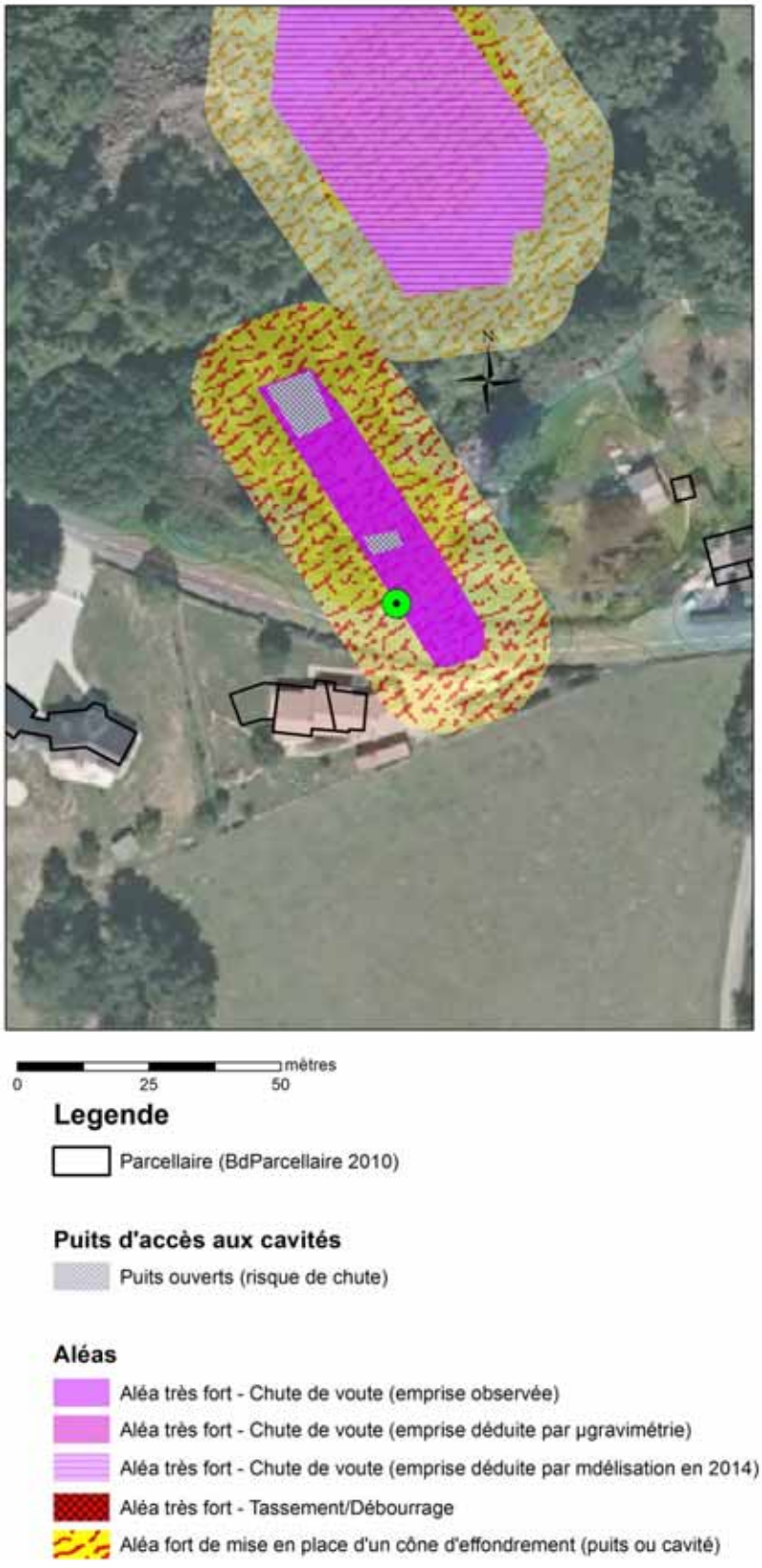


Figure 170 : Carte d'aléa, site de Chartroulle

Les terrains concernés par une chute de voute sont qualifiés en aléa très fort :

- La définition de la prédisposition à l'aléa chute de voute est qualifiée de très sensible par l ‘épaisseur de la voute.
- La définition de l’intensité est élevée à très élevée

La recherche de profil d’équilibre sera qualifiée en aléa fort, associé à une prédisposition équivalente à celle de l’effondrement. En contexte de puits ouverts, on ne quantifie pas d’aléa Tassement débourrage pour ce site.

Les aléas Chute de voûte et Cône d’effondrement / reprise de profil d’équilibre sont retenus avec **un niveau fort à très fort.**

La route départementale n° 9 est exposée à deux natures d’aléas (chute de voute et cône d’effondrement). La chute de voute est localisée sous la route dont elle recoupe toute la largeur. L’aléa cône d’effondrement est associé à la cavité et affecte la route et la parcelle bâti immédiatement au contact.

Risques identifiés

Du fait de la présence d’une route à forte fréquentation *(à confirmer par des données quantifiées)* dans la zone d’aléa, le risque mouvement de terrain est élevé.

Une diminution de l’aléa ou des enjeux diminueraient ce risque.

9.5. REMEDIATION ENVISAGEABLE

Mise en sécurité immédiate

Le site de Chartroulle présente deux typologies d’enjeux.
- La première concerne la voirie départementale (D9) qui peut être déviée
- La seconde concerne la parcelle bâtie voisine qui est impactée par l’aléa lié au cône d’effondrement pour une part de son jardin

Les usagers de la route et de la parcelle habitée doivent être informés des aléas existants et des risques associés.

Traitement de l’aléa

La remédiation par un confortement de la voute suppose au préalable de connaitre le fond de la cavité. Pour l’heure celle-ci est en eau et en partie comblée de remblais et déchets divers et en l’état difficilement investigable.

D’autre part une telle remédiation supposera d’évacuer cette eau et ces déchets et une analyse précise de la qualité des matériaux extraits ou pompés devra être menée, ceux-ci étant susceptibles de présenter un risque de pollution.

Le comblement de la cavité suppose un accès au site que le contexte des terrains naturels rend difficile. La reconnaissance de la partie en eau et de la nature des matériaux de remblais est également un préliminaire à toute intervention dans la cavité

Traitement des enjeux

Au regard des volumes et de la portée de la voute le pontage de la route peut être une solution techniquement envisageable.

Une déviation de la D9 peut être envisagée, totale ou partielle (en fonction d'un tonnage limite par exemple si la mise en place d'un filet en sous œuvre est réalisée).

Le site de Chartroulle a la particularité de présenter, en plus des aléas cités sur les mouvements de terrain, un aléa particulier lié aux chutes de personnes que l'on peut associer au puits ouvert à proximité de la route (à moins de 8 mètres). Ce puits présente un danger immédiat et de plus semble utilisé encore très récemment comme décharge sauvage. La mise en place d'une clôture permettrait de résoudre à la fois la problématique d'un accès non protégé et le dépôt sauvage de déchets.

9.6. SUIVI DE SITE

La mise en sécurité du puits d'accès au droit de la cavité et l'arrêt du déversement de déchets non contrôlés composent l'étape préliminaire de tout suivi. Au regard du contexte hydrogéologique, un suivi mensuel du niveau d'eau peut être réalisé. Il suppose, au préalable, une analyse de la qualité de l'eau de la cavité pour anticiper, si nécessaire, tout risque de pollution vers l'aval.

9.7. SYNTHESE DE SITE

SITE				D9 - Chartroulle
Chapitres du rapport				Site de la Chartroulle
ALEAS présents sur SITE	Effondrement de vol	remplissage des cavités	Epaisseur du toit de la cavité (nature)	7 à 10 mètres
			EAU (m^3)	Non mesurée
			AIR (m^3)	3 361
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)	
	Tassement Débourrage	associé aux puits :		
	Cône d'effondrement	associé aux puits ou cavité de :		Cavité de Chartroulle
ENJEUX inventoriés	Primaires sur cavité (Enjeux sur site)			Route départementale
	Secondaires sur cavité (Enjeux voisins du site)			
	Secondaires sur cône			parcelle jardin
				Risque de chute dans le puits
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	Action proposée par ordre indicatif de priorité			Information Déviation Limitation tonnage mise en sécurité des puits
	Remédiation envisageables, prérequis			Oui
	Techniques de remédiations			Pontage, déplacement des enjeux (déviation totale ou partielle), remblaiement
	Contrainte traitement eau			OUI
	Interdépendances des sites			A
Propriétaire				Département

10. Perspectives sur l'étude des ardoisières

10.1. TABLEAU DE SYNTHESE DES SITES

Le tableau présenté à la suite (

Figure 171) reprend les éléments essentiels des fiches de sites. L'analyse des huit sites initiaux conduit à un découpage en dix secteurs qui peuvent être abordés de manière distincte. Cinq d'entre eux peuvent être abordés indépendamment des autres. Les autres sont liés et peuvent être enchainés les uns après les autres afin d'optimiser la portée des travaux menés.

Parmi les remédiations envisageables, le choix de la méthode sera déterminé à partir d'études (faisabilité technique, faisabilité technico-économique et socio-économique) dont les principaux paramètres sont [18] :

- les conditions d'accessibilité au fond et de sécurité du personnel opérateur ;
- les caractéristiques géométriques des cavités souterraines et l'estimation du volume des vides qui a été menée ou non car difficile dans le cas des terrains déconsolidés que représentent les remblais fluants ;
- les conditions opératoires (profondeur, topographie, environnement urbain ou boisé, etc.) ;
- les matériaux disponibles, les moyens de transports adaptés, les possibilités de stockage, les à-coups de production ou d'approvisionnement ;
- la destination de la surface, les projets d'urbanisme, la valorisation du sol ;
- les aspects financiers ;
- la densité de population, le mode d'urbanisation ;
- les aspects sociologiques, économiques ou administratifs ;
- l'impact sur l'environnement.

Les méthodes inventoriées dans le tableau de synthèse sont décrites à la suite, selon la méthode avec laquelle elles résolvent l'équation : Risque = Aleas * Enjeu :

Par traitement de l'aléa :

Le comblement ou foisonnement :

Le terme « foisonnement » consiste à résorber la cavité en faisant effondrer la voute qui la masque, soit un comblement direct des cavités sous-jacentes à partir des matériaux de recouvrement abattus par voie mécanique. Dans ce cas, on substitue alors à une prédisposition à l'effondrement la présence d'un creux, plus ou moins profond, dont la perception immédiate matérialise les éventuels risques associés.

Le remblaiement :

Parce que les cavités sont inaccessibles, seul un remblaiement gravitaire par simple déversement depuis la surface ou un remblaiement par injections de mortiers ou de coulis (sous pression) est envisageable.

[18] Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique : Surveillance – traitement Guide technique INERIS-DRS-07-86042-02484A

Le clavage (remblaiement par) :

Le terme de clavage est employé dans son sens initial «mettre en serrage un soutènement ou un remblai contre le toit ». La nature des matériaux employés pour ce clavage est non définie, en règle générale il s'agit de mortiers de béton.

Par le traitement des enjeux et la réduction de leur sensibilité à l'aléa :

Le pontage (dans le cadre de voies de communication) :

Cela consiste à réaliser un ouvrage de mise en sécurité de l'enjeu au-dessus de la cavité. L' effondrement de la cavité, si il se produit, s'effectue alors sans impact sur la voie dont la résistance est définie par une emprise établit au-delà de la zone d'emprise de l'aléa.

Le filet sous-œuvre (méthode ''parachute'') :

Cet aménagement de réduit pas l'aléa, il en réduit l'intensité attendue en réduisant l'effondrement vertical brutal à un affaissement contrôlé et limité.

Le déplacement des enjeux :

Pour les voies de communication cela revient à dévier la route ou en dévier une partie par limitation du tonnage admissible sur la voie.

Cinq secteurs sont indépendants, leur traitement peut être mené sans influence sur l'état des autres sites. Il s'agit des zones suivantes :

1. Le Saillant où les enjeux sont également une route départementale et des parcelles privées bâties.
2. Chartroulle où les enjeux sont une route départementale et une parcelle privée bâtie.
3. La rue du Temple où les enjeux sont également une route communale et des parcelles privées.
4. La rue des Pissotes où l'enjeu est une route communale.
5. La maison ''du Gardien''

L'ordre proposé est fondé sur l'hypothèse d'un taux d'usage de ces enjeux et d'importance de l'aléa inventorié décroissant.
Cinq autres secteurs sont en revanche interdépendants. Cette dépendance s'articule autour de deux puits (B1' et N)/cavités dont la connaissance est encore insuffisante et dont la reconnaissance est problématique au regard des enjeux présents sur site.

En termes de priorité :

1. le site de l'Avenue des ardoisières où l'enjeu de la route communal a une importance particulière car le traitement des puits/cavités B1 et B1' aura/aurait un impact sur les sites suivants. En traitant le site de l'avenue des Ardoisières, le site dit 'Rabadan' sera traité.
2. Le site des entrepôts communaux. Il peut être traité en deux étapes, partie nord avec la cavité associée aux puits R et S. Partie sud (Minotier) avec le puits N et sa cavité associée dont le traitement aura un impact direct sur le site suivant
3. Site du Minotier, une seule inconnue encore à lever qui est composée de l'anomalie associée au puits N.
4. La route des Pénitents est soumise à un aléa qui dépend des puits cités au-dessus.

SITE				Maison dite du Gardien	Rabadan, casse automobile	Batiments communaux, Lapeyre	Avenue des ardoisières	Minotier	Rue Antoine Bourdu	Rue des Pénitents	Rue du temple	Rue des Pissotes	Route du Saillant (D148)	D9 - Chartroulle	SNCF
Chapitres du rapport				Site de la maison du Gardien	Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents	Bâtiments communaux-minotier	Site de l'avenue des Ardoisière	Bâtiments communaux-minotier	Bâtiments communaux-minotier	Site de la parcelle 1BX0324 et de la rue des pénitents	Site de la route du Temple	Site de la route des pissotes	Site du puits du Saillant	Site de la Chartroulle	
ALEAS présents sur SITE	Effondrement de voute	remplissage des cavités	*Epaisseur du toit de la cavité (nature)*		*8.10 m (schistes) - 14.5m (remblais et schistes)*	*en N: 7m, en R et S : 12 et 13.8 m*	*8.10 m (schistes) - 14.5 (remblais et schistes)*	*en N : 7m*	*en N : 7m*	*7m et 8m*	*15m (epaisseur de remblais inconnue)*	*13m (nord) et 10m (sud)*	*17.7m (schistes sains) - 24.3m (alluvions et schistes)*	*7 à 10 mètres*	non investigué
			EAU (m^3)	sans objet (s.o.)	non reconnu	113	non reconnu	non reconnu		non reconnu	6273	40	3935	Non mesurée	
			AIR (m^3)	(s.o.)							(s.o.)	(s.o.)	(s.o.)	3 361	
			cavité et puits associés, présence de emblais (saturés en eau)	(s.o.)	B1 B1'	N R S	B1 B1'	N	N	N B1 B1'	M	GF8 GF1 G1			
	Tassement Débourrage		*associé aux puits :*	(s.o.)	B1 B1'	R S		N							
	Cône d'effondrement		*associé aux puits ou cavité de :*	B4 B3 L2 Cavités associées à B4 et L2	B1 B1 Cavité associée	N R S Cavités associées	L1 et L2 B1 et B1' S Cavités associées	N Cavité associée	N Cavité associée	B1 et B1' N O O	L I Cavité de M	Cavités GF3, GF1 et G1	Cavité de Chartroulle	Cavité du Saillant	
ENJEUX inventoriés	Primaires sur cavité				Batiments /hangars	Batiments /hangars	Route communale	Batiments /hangars	Route communale	Route communale	Route communale	Route communale	Route départementale	Route départementale	Passage d'une lame d'eau sur voies ou installations
	Secondaires sur cavité				Routes communales (Penitents et Ardoisières)	Batiments /hangars		Routes communales (A. Bourdu et [illegible]					parcelle jardin habitation		
	Secondaires sur cône			La parcelle à usage de jardin		Routes communales : A.Bourdu, Penitents, Ave Ardoisières sont concernées		parcelle bâti face au Minotier	parcelle bâti face au Minotier		parcelle jardin & parcelle bâti		parcelle jardin & bâti	parcelle jardin	
														Risque de chute dans le puits	
PROPOSITION de REMEDIATION (informatif)	Action proposée par ordre indicatif de priorité		1	Information	Evacuation	Evacuation	Information	Information	Information	Information	Information	Information	Information	Information	Information
			2	Cloture parcelle		*Usages restreints*	Déviation	Evacuation	Déviation	Déviation	Limitation tonnage	Limitation tonnage	Déviation	Déviation	
			3				Limitation tonnage						Limitation tonnage	Limitation tonnage	Suivi cavité en EAU (R et S)
			4											mise en sécurité des puits	
	Remédiation envisageables, prérequis			Sans objet	Investigation complementaire et sécurisée sur N	Oui	Investigation complementaire (parcelle 1BX0442).	Investigation complementaire et sécurisée sur N		Investigation complementaire (sécurisée) sur N, B1 et B1'	Investigation complementaire (parcelle 1BV0403 vers K)	Investigation complementaire (parcelle 1BW0112).	Oui	Oui	**Oui**
	Techniques de remédiations			Sans objet	Deplacement de l'enjeu	Remblaiement, foisonnement	Déplacement de l'enjeu	Déplacement de l'enjeu, remblaiement.	Déplacement de l'enjeu, remblaiement, filet sous-oeuvre.	Suppression de l'enjeu, filet sous-œuvre	Déplacement de l'enjeu, filet sous-oeuvre.	Déplacement de l'enjeu, Remblaiement, Filet sous œuvre ou pontage partie sud	Remblaiement, Pontage, Déplacement des enjeux (déviation totale ou partielle)	Pontage, déplacement des enjeux (déviation totale ou partielle), remblaiement	Pompage lame d'eau R,S ou remblaiement R,S
	Contrainte traitement eau			NON	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	NON	OUI	OUI	
	Interdépendances des sites			A	Pissotes ouest			Pissotes Sud			A	A	A	A	
Propriétaire				Particulier	Particulier	Commune	Commune	Particulier	Commune	Commune	Commune	Commune	Département	Département	RFF

Figure 171 : Tableau de synthèse des sites étudiés

10.2. MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE SUIVI DES SITES

L'affaissement du puits en cours de forage le 17 juin 2015 ainsi que la forte sécheresse de l'été 2015 ont conduit à la mise en place d'une surveillance hebdomadaire des différents secteurs présentant des enjeux. Ce suivi a initié la mise en place d'un protocole et d'un réseau de surveillance plus général.

Ce suivi a produit des effets en 215 puisqu'il a entraîné au mois d'août, la mise en place de mesures conservatoires sur la parcelle de la maison « du gardien ». Il a également permis le suivi des sites à risque immédiat de chute comme Chartroulle

- **Suivi de l'évolution des secteurs à enjeux lors du retour des pluies**

  L'indice d'humidité des sols ayant dépassé son minima historique établi depuis plus de 40 ans en 2015, un brusque retour des pluies sur un sol très sec est susceptible de créer de nombreux désordres au niveau des anciens sites ardoisiers.

  Tous les secteurs à enjeux ont été suivis, avec une attention particulière pour les désordres en cours et la fin d'étiage. A fin octobre usuellement en Limousin, les niveaux piézométriques remontent et les nappes d'eau souterraines recomposent leurs réserves, après un étiage sévère en 2015, la recharge hivernale de 2015-2016 justifie d'un suivi mensuel des secteurs.

- **Suivi quantitatif du tassement** de plusieurs puits :

  Deux campagnes de mesures de nivellement ont été réalisées à l'aide d'un théodolite au niveau du puits N. Une douzaine de points a été marquée à divers endroits du puits. La variation d'altitude d'un point entre deux campagnes de mesures indiquera un éventuel mouvement.

  Un fil à plomb a également été installé au niveau des silos afin d'en contrôler l'aplomb et d'éventuels mouvements.

- **Suivi hydrogéologique :**

  Les sondages destructifs, réalisés lors de la reconnaissance des vides du sous-sol, peuvent être, sous réserve de leur équipement, autant de points de contrôle des niveaux d'eaux. Les puits étant tous en eau, une brusque variation du niveau d'eau souterrain peut informer sur d'éventuels désordres souterrains en cours. Deux campagnes de mesures de ces niveaux ont été effectuées en 2015, elles n'ont pour l'instant pas mis en évidence de variations significatives. Ces mesures contribuent à l'élaboration de la carte piézométrique détaillée d'Allassac et de sa région.

  En revanche, la présence d'eau avérée dans les cavités libres de remblais justifie un suivi de cet aléa particulier que pourrait provoquer la brusque expulsion d'un volume d'eau important au voisinage d'enjeux routiers, d'habitations ou des voies ferrées. Le contrôle de ces cavités, leur pompage peut réduire cet aléa mais la qualité des eaux d'exhaure est une inconnue et l'impact de ces pompages sur un éventuel tassement des remblais en place doit également être abordé.

11. Conclusion

Dans le cadre de la commune d'Allassac, les investigations menées sur les anciennes ardoisières d'Allassac ont permis :

- la connaissance de l'aléa à l'échelle communale avec l'actualisation des travaux de 2014,
- la cartographie du risque à l'échelle des enjeux identifiés sur aléa (chute de voute, tassement/débourrage de puits et cônes d'effondrement)
- l'inventaire des remédiations envisageables et la proposition d'une priorisation des sites à traiter.

Au regard du site des bâtiments communaux, parce qu'il recèle un volume d'eau important qui pourrait être déplacé violement, comme sur le ''secteur Villate'' en janvier 2014, la prise en compte de l'enjeu constitué par le domaine SNCF se justifie dans le traitement ou la remédiation de ce site.

Au regard du site du Saillant, du site 'Rabadan' et du site du Minotier, les projets en cours[19] et l'état des connaissances, justifient des investigations complémentaires dans des conditions de mise en défens des enjeux différentes de celles jusqu'alors prises au regard des risques avérés maintenant connus.

La problématique de la pollution observée dans les sites, qui ont servi de décharges pendant une quarantaine d'années et au droit desquels, la nappe souterraine est très probablement contaminée, doit être abordée. En premier lieu par un état initial de la nature éventuelle de ces pollutions et l'impact potentiel de leur migration dans le milieu souterrain.

[19] Station de relevage des eaux usées placée initialement, *anté* avril 2014, au droit de la cavité investiguée.

L'étude a montré que le massif Ardoisier de Corrèze recèle d'anciens sites d'exploitation dont l'état d'abandon et le peu de connaissance des conditions d'arrêt justifient une étude à l'échelle du gisement nécessairement supra-communale. La figure suivante illustre une partie de ce massif en recensant en 1975[20], des exploitations depuis Travassac jusqu'à Chabrillac. En 2016, une étude de l'ensemble du gisement historique est envisagée.

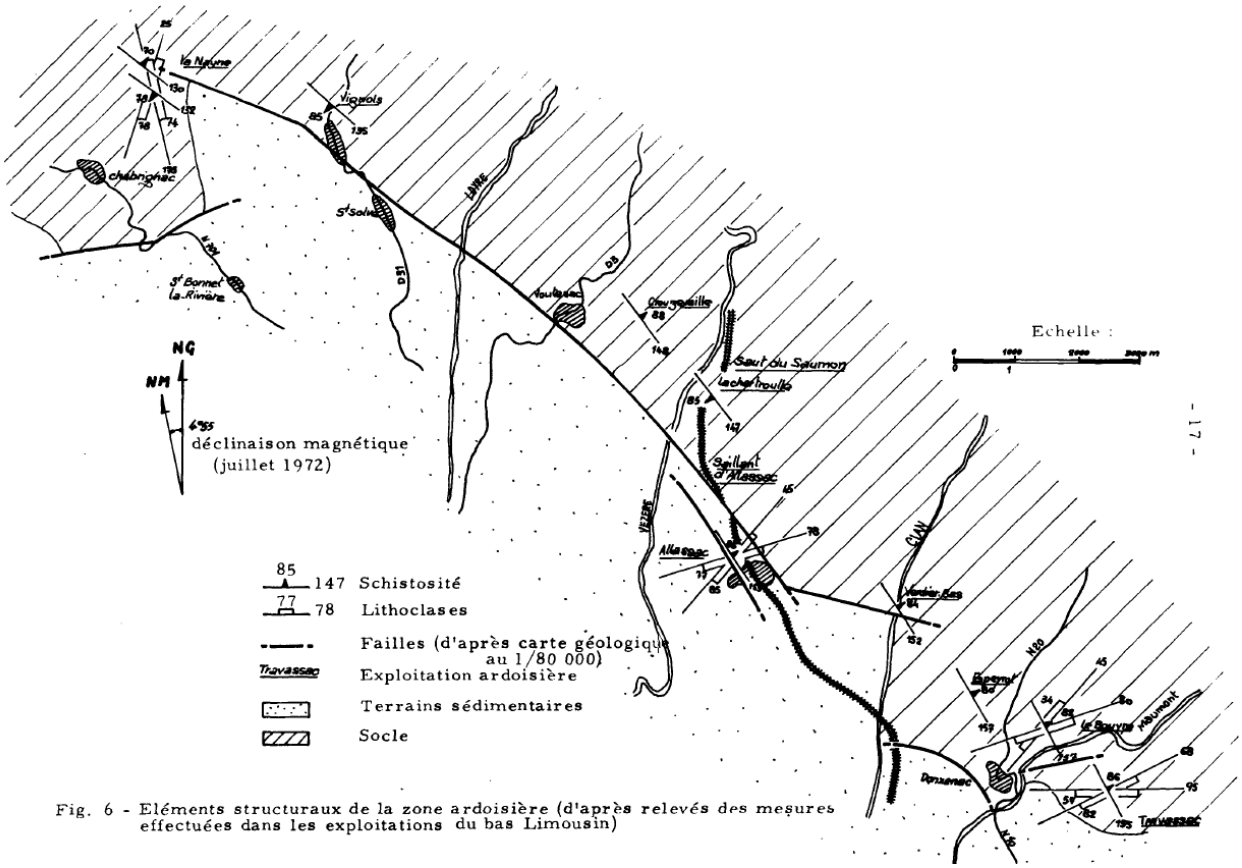


Fig. 6 - Eléments structuraux de la zone ardoisière (d'après relevés des mesures effectuées dans les exploitations du bas Limousin)

[20] LES GISEMENTS ARDOISIERS D'ALLASSAC ET TRAVASSAC (Corrèze) ET DE RÉNAZÉ (Mayenne), ANALYSE DE LA FRACTURATION, RECHERCHE DE CRITÈRES DE FISSILITÉ, D. CHARPENTIER, 75 SGN 218 AME, mai 1975

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 Limousin
Ester Technopole
21 rue Columbia
87069 – Limoges Cedex 3– France
Tél. : 05 55 35 27 86

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 Limousin
Ester Technopole
21 rue Columbia
87069 – Limoges Cedex 3– France
Tél. : 05 55 35 27 86

Document public

Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués

BRGM/RP-65179-FR

Annexes

Octobre 2015

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Annexe 1 : Etude Micro gravimétrique

Document public

Etude microgravimétrique pour la détection d'ardoisières sur la commune d'Allassac (19)

Rapport final

BRGM/RP- 64915-FR
Juillet 2015

T. Jacob
Avec la collaboration de
F.Touchard

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Etude microgravimétrique pour la détection d'ardoisières sur la commune d'Allassac (19)

Rapport final

BRGM/RP- 64915-FR
Juillet 2015

T. Jacob
Avec la collaboration de
F.Touchard

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : F. Mathieu	Nom : V. Mardhel
Fonction : Géophysicien	Fonction : Directeur régional
Date : 09/07/2015	Date :
Signature :	Signature :

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

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : géophysique, microgravimétrie, cavités, Allassac, Corrèze

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

Jacob T. (2015) – Etude microgravimétrique pour la détection d'ardoisières sur la commune d'Allassac (19)- Rapport BRGM/RP- 64915-FR, 51 p., 35 ill., 3 tabl.

© BRGM, 2015, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Une investigation géophysique basée sur un levé gravimétrique comprenant 635 stations réparties sur 7 zones différentes a été effectuée la sur la commune d'Allassac.

Les anomalies gravimétriques négatives décelées peuvent correspondre :

- à des variations latérales de densités au sein des terrains, liées à leur nature et à leur lithologie, à leur degré d'altération ou à leur degré de compaction
- à des cavités vides, ennoyées, ou partiellement remblayées
- à des variations d'épaisseur de remblais peu dense sur un substrat plus dense

Pour lever les ambiguïtés d'interprétation, 18 sondages de contrôle au sein des anomalies négatives décelées sont préconisés, jusqu'à une profondeur de 50 m.

Nous recommandons que des compléments d'acquisition soient effectués afin de bien circonscrire les anomalies décelées, notamment sur les zones d'acquisition sur voirie seule.

Sommaire

1. Contexte et objet de l'étude 8

2. Mesures, moyens mise en œuvre et traitements 8

2.1. IMPLANTATION 8

2.1.1. Zones Z1 et ZR1 10

2.1.2. Zone Z3 11

2.1.3. Zone ZR2 13

2.1.4. Zone ZR3 15

2.1.5. Le Saillant 16

2.1.6. La Chartroulle 18

2.2. MATERIEL ET ACQUISITION GRAVIMETRIQUE 19

2.3. REDUCTION DES DONNEES VERS L'ANOMALIE DE BOUGUER 20

2.3.1. Détermination des densités de réduction de l'anomalie de Bouguer 21

2.3.2. Corrections de terrain et de bâtiments 22

2.4. PRECISION DE L'ANOMALIE DE BOUGUER 26

3. Anomalie de Bouguer, anomalie régionale, et anomalie résiduelle 28

3.1. ZONES Z1 ET ZR1 29

3.2. ZONE Z3 31

3.3. ZONE ZR2 34

3.4. ZONE ZR3 37

3.5. LE SAILLANT 40

3.6. LA CHARTROULLE 43

4. Recommandations et limites de la méthode 46

5. Conclusion 49

Liste des illustrations

Illustration 1 : Emprise géographique des zones d'études 9

Illustration 2 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie des zones Z1 et ZR1. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges. 10

Illustration 3 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près , b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une

constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour les zones Z1 et ZR1. 11

Illustration 4 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone Z3. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges. 12

Illustration 5 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone Z3 13

Illustration 6 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone ZR2. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges. 14

Illustration 7 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone ZR2 15

Illustration 8 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone ZR3. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges. 15

Illustration 9 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone ZR2 16

Illustration 10 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone Le Saillant. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les 0.5 m. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges. 17

Illustration 11 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone Le Saillant 18

Illustration 12 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone La Chartroule. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les 0.5 m. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges. 18

Illustration 13 : histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, pour la zone La Chartroulle 19

Illustration 14 : Résulats de la méthode de Nettleton pour chaque zone. Panneau du haut, anomalies de Bouguer aux stations pour les densités comprises entre 1.9 et 2.9, par pas de 0.1. Panneau du millieu : topographie des stations. Panneau du bas : coefficient de correlation entre la topographie et l'anomalie de Bouguer selon les différentes densités. Les traits noirs marquent le coefficient de correlation nul, associé à la densité de réduction optimale. 21

Illustration 15 : Corrections (mGal) liées à l'effet de la topographie et des murs des habitations (polygones noirs), à apporter aux valeurs de l'anomalie de Bouguer, pour les zones Z1 et ZR1 (a, b), Z3 (c, d), ZR2 (e, f), ZR3 (g), Le Saillant (h, i), et la Chartroulle (j, k). 25

Illustration 16: a) Histogramme des écarts de reprise (barres bleues), pourcentage cumulé (trait rouge), et distribution Gaussienne associée (trait vert), b) Histogramme des valeurs absolues des écarts de reprises (barres bleues) et pourcentage cumulé (trait rouge). Le pourcentage cumulé à 68 % est marqué par les traits verts, et donne l'erreur moyenne sur la mesure de g. 26

Illustration 17 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.7 des zones Z1 et ZR1. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal. 29

Illustration 18 : Anomalie régionale (mGal) des zones Z1 et ZR1. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal. 30

Illustration 19 : Anomalie résiduelle (mGal) pour les zones Z1 et ZR1. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 31

Illustration 20 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.2 de la zone Z3. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal. 32

Illustration 21 : Anomalie régionale (mGal) de la zone Z2. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal. 33

Illustration 22 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone Z3 L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 34

Illustration 23 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.6 de la zone ZR2. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal. 35

Illustration 24 : Anomalie régionale (mGal) de la zone ZR2. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal. 36

Illustration 25 : Anomalie résiduelle (mGal) pour les zones ZR2. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 37

Illustration 26 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.7 de la zone ZR3. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal. 38

Illustration 27 : Anomalie régionale (mGal) de la zone ZR3. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal. 39

Illustration 28 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone ZR3. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 40

Illustration 29 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.7 de la zone du Saillant. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal. Trait rouges : emprise d'un puits visible. 41

Illustration 30 : Anomalie régionale (mGal) de la zone Le Saillant. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal. 42

Illustration 31 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone Le Saillant. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 43

Illustration 32 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.4 de la zone de la Chartroulle. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal. Les surfaces jaunes correspondent à des indices de puits. 44

Illustration 33 Anomalie régionale (mGal) de la zone de la Chartroulle. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal. 45

Illustration 34 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone de la Chartroulle. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives. 46

Illustration 35 : Anomalie synthétique (mGal) générée par une cavité ennoyée dont le toit est à 15 m de profondeur, de 15 m de hauteur, de 10 m x 20m d'emprise (traits noirs). Les traits bleus en tiret marquent la position d'une route, la croix noire la position d'un sondage préconisé. 48

1. Contexte et objet de l'étude

Sur le territoire de la commune d'Allassac, un gisement ardoisier a été exploité jusque dans les années 1970. Les méthodes d'exploitation ont entraîné le creusement de puits d'accès au gisement, puis de chambres d'exploitation souterraines de grande extension pouvant atteindre un centaine de mètres de profondeur. La localisation et la géométrie exacte de ces chambres sont inconnues comme leur état de remblaiement. Seuls les puits d'accès ont été identifiés sur le terrain et/ou sur photo aérienne.

Sur ce territoire, deux études menées par le BRGM en 1997 puis en 2013 ont identifié des zones d'aléas de mouvements de terrain faibles, moyens et forts. Durant l'année 2014, deux nouveaux effondrements ont entraîné des mesures de mise en sécurité des biens et des personnes.

Les recommandations de l'étude BRGM de 2013 préconisent ainsi, dans les zones à enjeux identifiées en 2013/2014, de déterminer la géométrie des cavités.

Pour ce faire, la méthode d'investigation adoptée est d'abord d'établir une cartographie microgravimétrique des zones à enjeux, laquelle aura pour but de positionner des forages de reconnaissance. Une auscultation sonar ou laser des cavités sera ensuite effectuée, si les forages rencontrent les vides, afin d'en préciser leur géométrie.

Le présent rapport concerne l'acquisition, le traitement et l'interprétation de la microgravimétrie effectuée sur sept zones de la commune Allassac (Illustration 1).

Cette méthode consiste à mesurer, à la surface du sol, les variations de la pesanteur qui sont directement liées aux variations de masses existantes dans le sous-sol et en particulier à la présence de cavités souterraines, de niveaux de densité moindre tels des niveaux altérés, décomprimés ou constitués de remblais peu denses.

Cette étude a été financée par la DREAL Limousin.

2. Mesures, moyens mise en œuvre et traitements

Thomas Jacob, ingénieur géophysicien, a réalisé l'ensemble des mesures entre le 16 et le 30 avril 2015, avec l'aide de Frédéric Touchard, ingénieur hydrogeologue, pour l'implantation des stations.

2.1. IMPLANTATION

635 stations gravimétriques ont été implantées, nivelées et mesurées en gravimétrie selon les sept zones d'étude (Illustration 1), avec une maille d'acquisition de 7 m.

Un niveau laser Leica Rugby 100 a été utilisé pour déterminer l'altimétrie relative des points, et un GPS différentiel Trimble Geo 7X a servi au positionnement planimétrique des stations gravimétriques, ainsi qu'à leur calage altimétrique. Une base du Réseau GNSS Permanent (RGP) de l'IGN, nommée Masseret, et située à une trentaine de km

de la zone d'étude, a été utilisée pour post-traiter les données. Le laser mètre intégré au GPS a été utilisé pour positionner les stations présentant un fort masque du ciel.

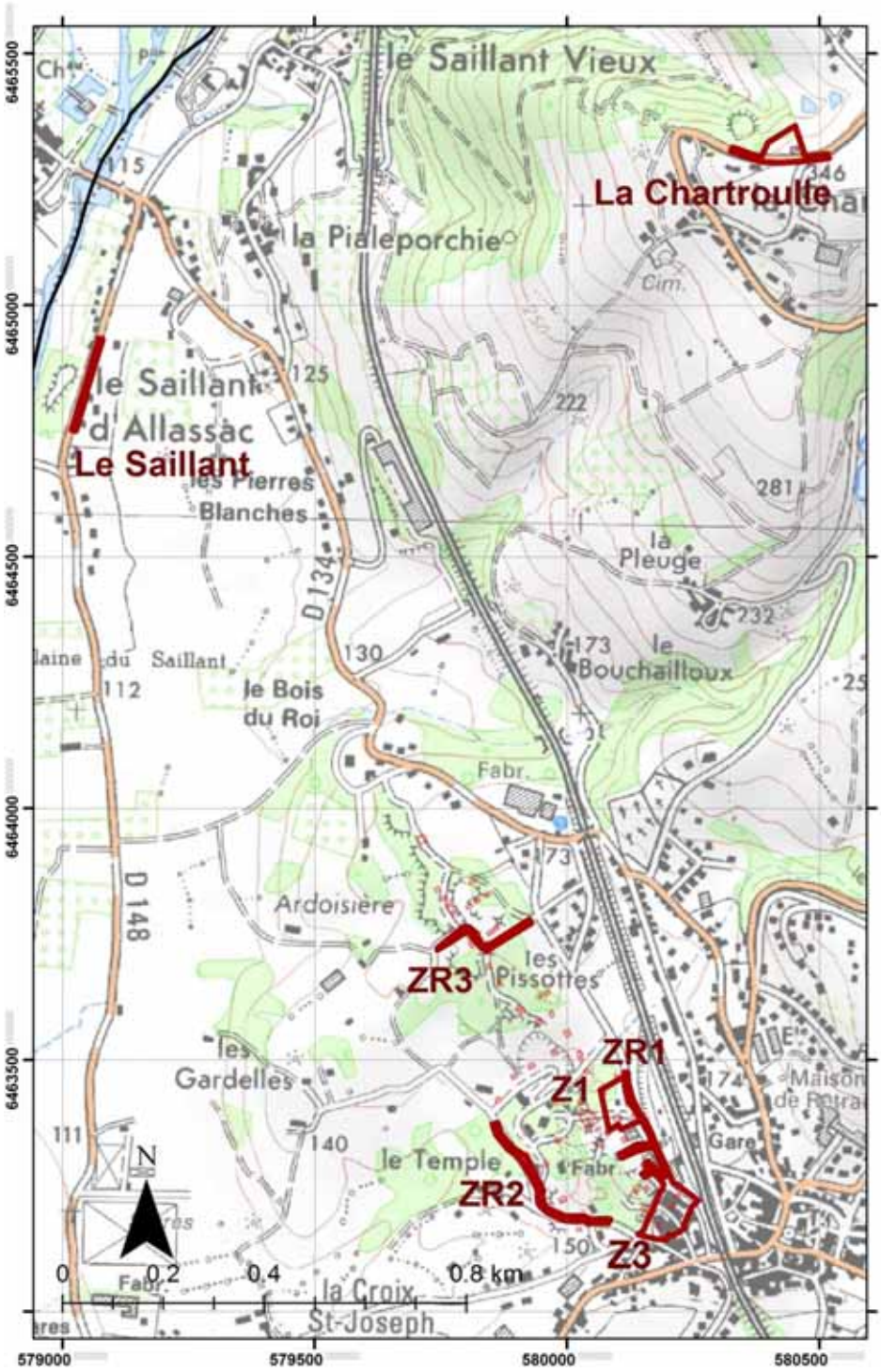


Illustration 1 : Emprise géographique des zones d'études

Le positionnement des stations selon chaque zone d'étude est présenté dans ce qui suit.

2.1.1. Zones Z1 et ZR1

Dans les zones Z1 et ZR1, 110 stations ont été implantées, sur la voirie, et sur des terrains communaux et privés (Illustration 2).

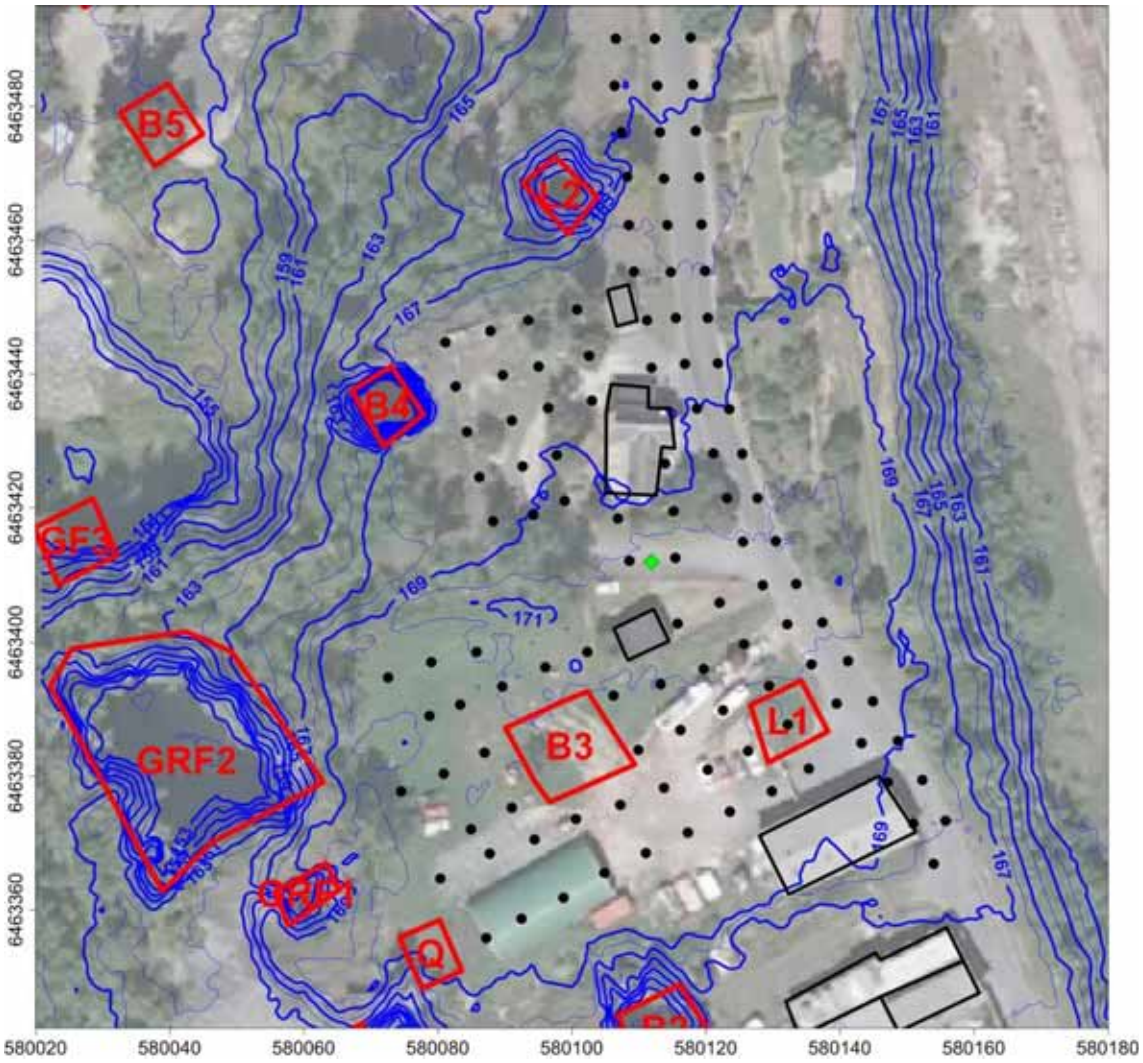


Illustration 2 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie des zones Z1 et ZR1. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges.

Une comparaison entre le Z issu du nivellement optique Zniv, le Z issu du positionnement GPS ZGPS, et le Z du modèle numérique de terrain ZMNT utilisé pour effectuer les corrections topographiques (voir section 2.3.2) est illustrée à l'Illustration 3.

Le nivellement optique est relatif : il permet d'obtenir les différences d'altitude de l'ensemble des stations par rapport à une station de base, dont l'altitude est fixée à une valeur arbitraire (souvent 0 m). Ainsi, comme ZGPS et ZMNT donnent les altitudes vraies (et non les altitudes relatives comme Zniv), les différences entre ZGPS et Zniv, ainsi que celles entre ZMNT et Zniv, sont données à une constante près. Cette

constant est indiquée dans les titres des histogrammes (l'Illustration 3a et b), elle est de ~166 m pour les zones Z1 et ZR1.

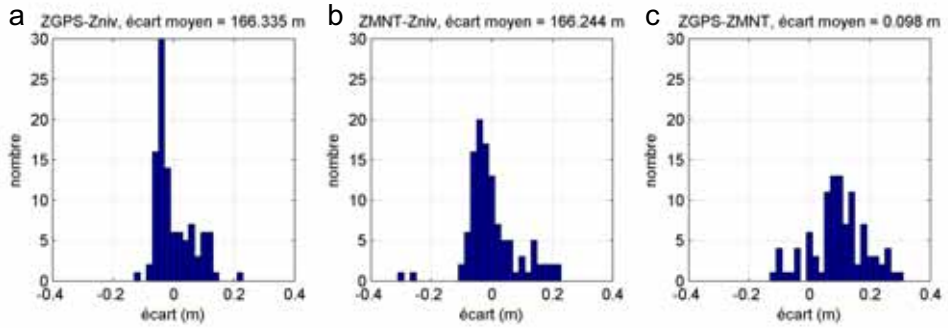


Illustration 3 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près , b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour les zones Z1 et ZR1.

Les écarts entre le ZGPS et Zniv sont compris entre +- 0.2 m (Illustration 3a). Ceci justifie l'utilisation du nivellement optique, dont la précision est de l'ordre de 1 cm. La précision du GPS est ici décimétrique du fait de la grande distance à la base utilisée pour le post-traitement, et de la durée d'acquisition (<5 s), optimisée pour le rendement et pour le positionnement planimétrique.

La distribution des écarts entre les altitudes du MNT et les altitudes nivelées est comprise entre -0.35m et 0.2 m (Illustration 3b), avec une moyenne proche de 0, ce qui témoigne de la bonne précision du MNT. En effet, ce MNT provient d'un levé LIDAR du RGE ALTI® de l'IGN.

Un biais moyen de l'ordre de 0.1 m est observé entre le Z GPS et le Z MNT (Illustration 3c).

2.1.2. Zone Z3

Dans la zone Z3, 221 stations ont été implantées sur la voirie, et sur des terrains communaux et privés (Illustration 4).

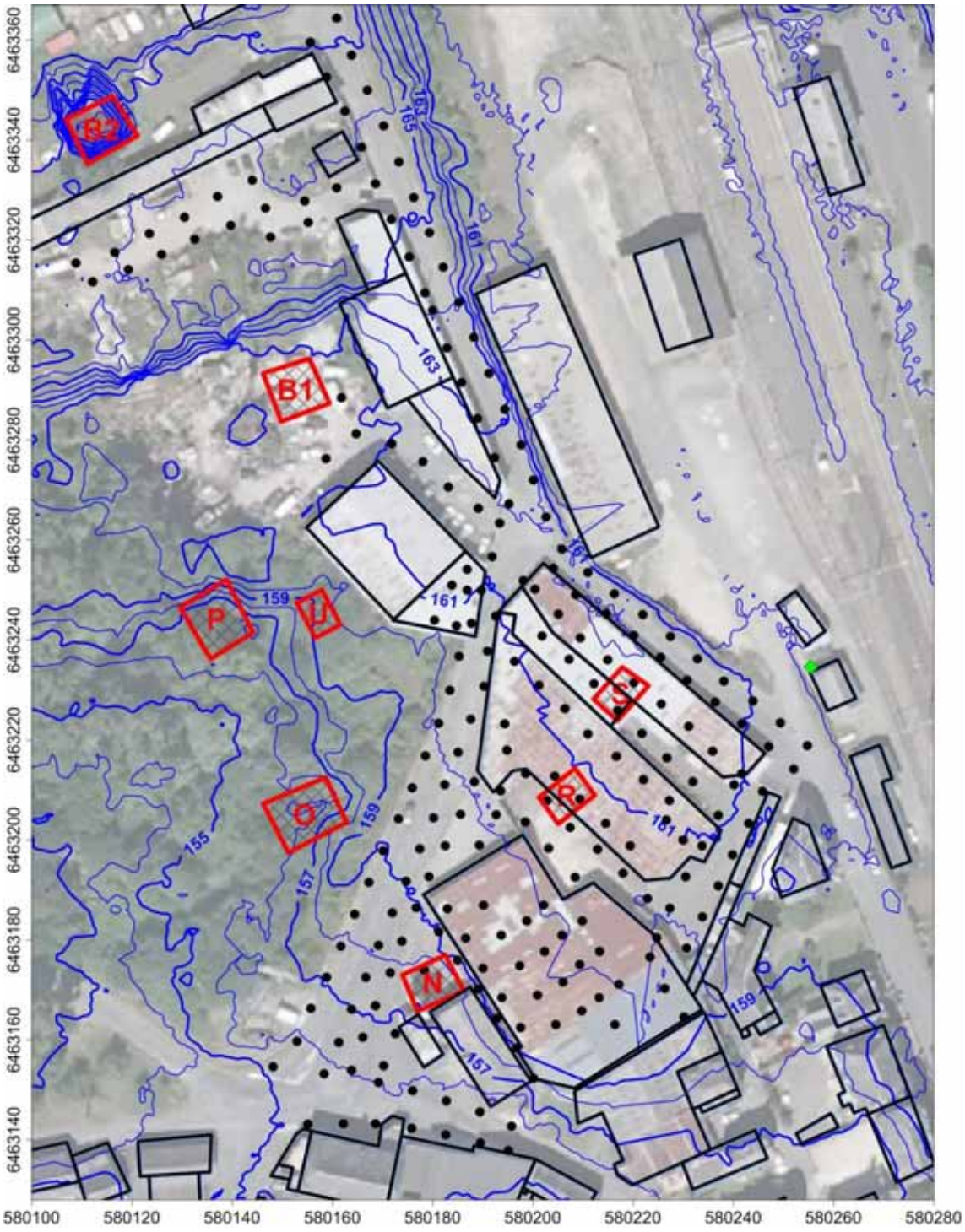


Illustration 4 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone Z3. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges.

La comparaison entres les altitudes issues du nivellement, du GPS et du MNT (Illustration 5), permet d'en tirer les mêmes conclusions que pour les zones Z1 et ZR1, à savoir :

- Le nivellement optique est justifié, du fait de la précision du GPS à +- 0.1 m
- Le MNT utilisé est de très bonne qualité
- Il existe un biais moyen de 0.09 m entre ZGPS et ZMNT

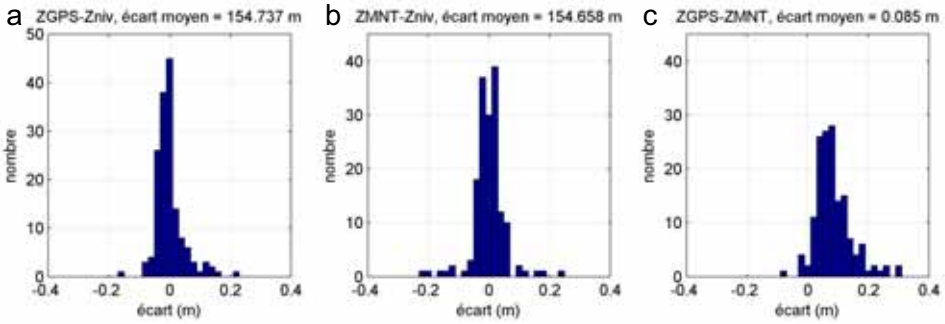


Illustration 5 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone Z3

2.1.3. Zone ZR2

Dans la zone ZR2, 92 stations ont été implantées sur la voirie (Illustration 6).

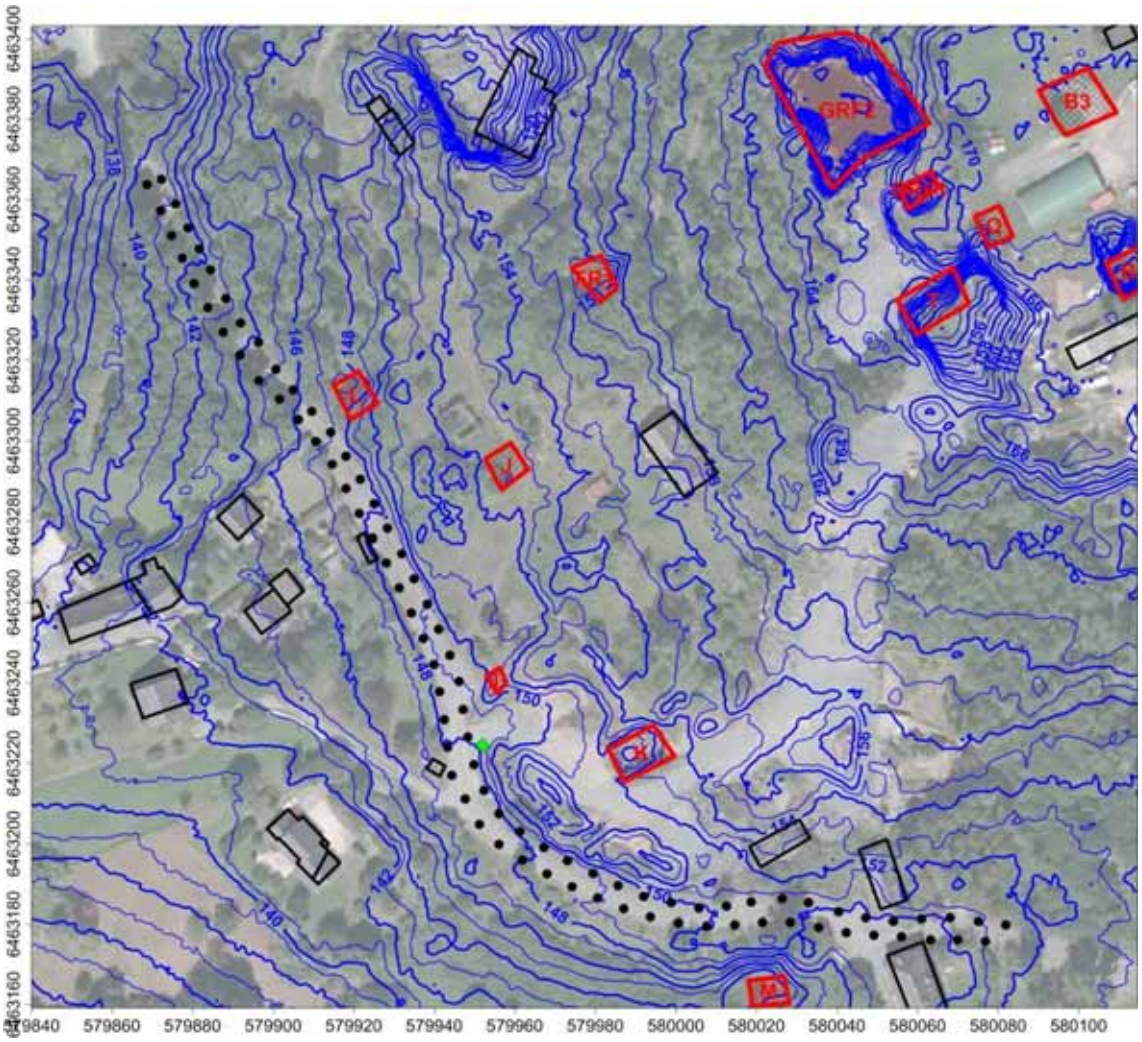


Illustration 6 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone ZR2. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges.

La comparaison entres les altitudes issues du nivellement, du GPS et du MNT (Illustration 7), permet d'en tirer les mêmes conclusions que pour les zones précédentes.

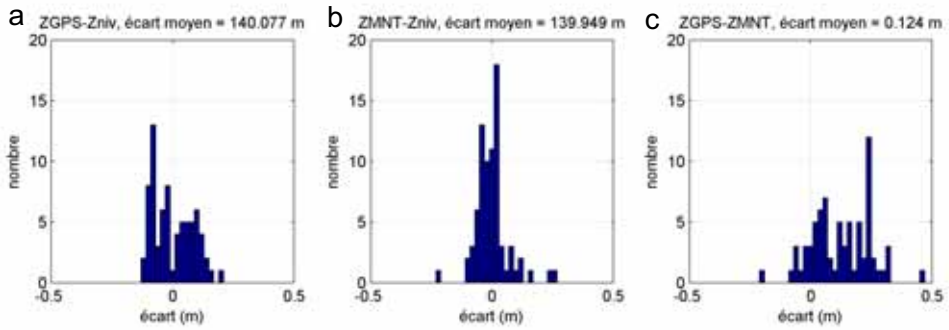


Illustration 7 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone ZR2

2.1.4. Zone ZR3

Dans la zone ZR3, 68 stations ont été implantées sur la voirie (Illustration 8).

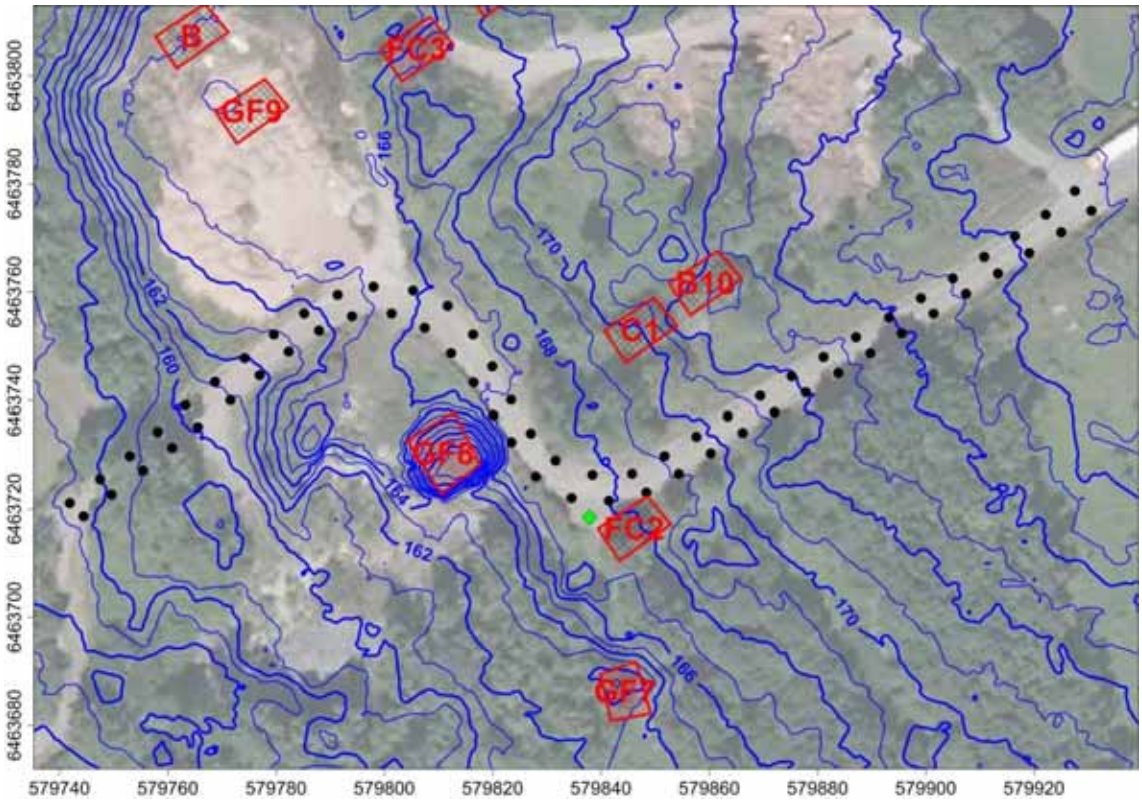


Illustration 8 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone ZR3. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les mètres. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges.

La comparaison entres les altitudes issues du nivellement, du GPS et du MNT (Illustration 9), permet d'en tirer les mêmes conclusions que pour la zones précédentes.

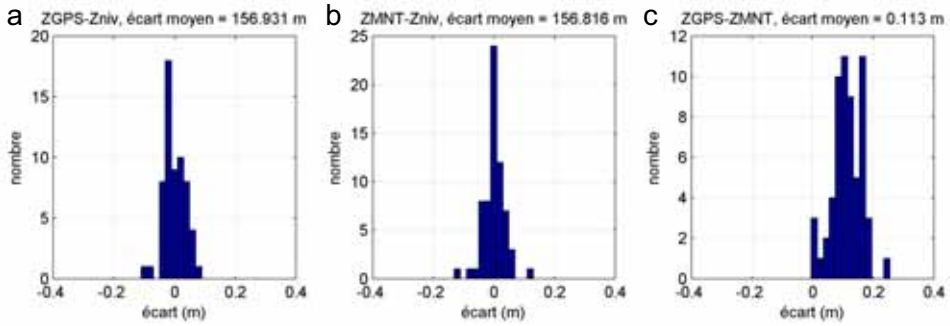


Illustration 9 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone ZR2

2.1.5. Le Saillant

Dans la zone du Saillant, 52 stations ont été implantées sur la voirie (Illustration 10).

La comparaison entres les altitudes issues du nivellement, du GPS et du MNT (Illustration 11), permet d'en tirer les mêmes conclusions que pour les zones précédentes.

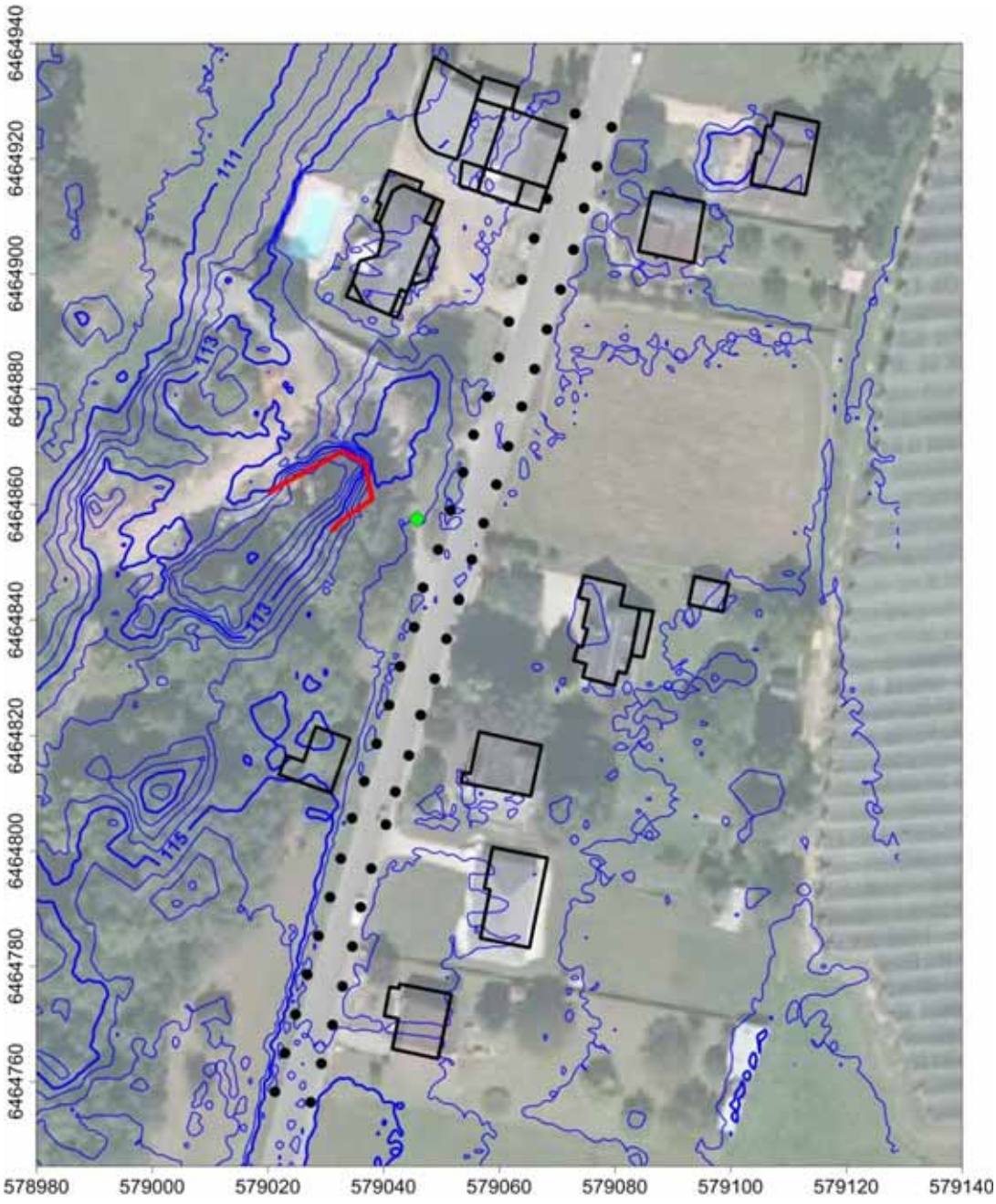


Illustration 10 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone Le Saillant. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les 0.5 m. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges.

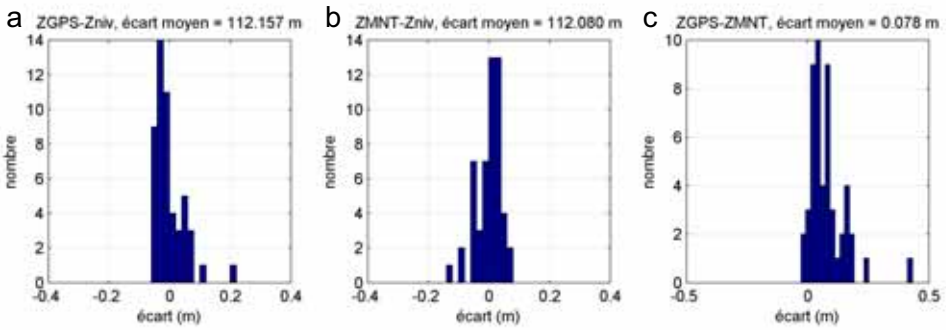


Illustration 11 : a) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, à une constante près ,b) histogramme des écarts entre le Z du MNT et le Z nivelé, à une constante près, et c) histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z du MNT, pour la zone Le Saillant

2.1.6. La Chartroulle

Dans la zone de la Chartrouille, 92 stations ont été implantées sur la voirie et sur terrains privés (Illustration 12).

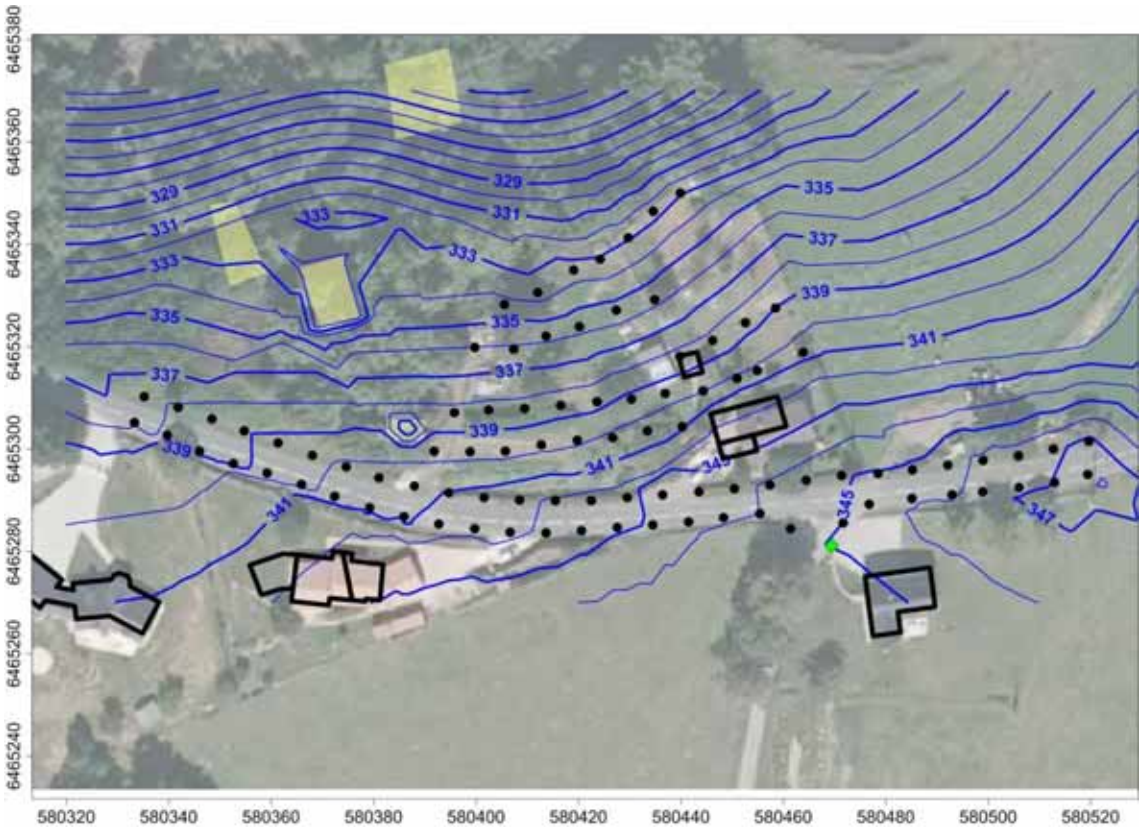


Illustration 12 : Carte d'implantation des stations gravimétriques (ronds noirs) et topographie de la zone La Chartroule. Le losange vert marque l'emplacement de la base utilisée. Les courbes de niveau sont tous les 0.5 m. Les bâtiments sont marqués par des traits noirs, les puits par des traits rouges.

Comme le MNT LIDAR à 1m ne couvre pas cette zone, seul les écarts entre le Z GPS et le Z nivellé est ici effectué, donnant des valeurs ent -0.05 m et +0.17 m (Illustration 13)

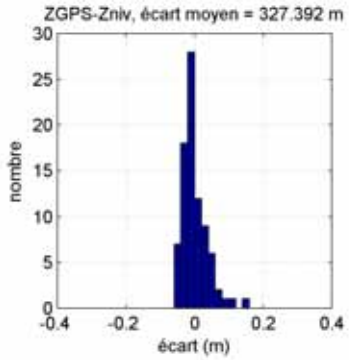


Illustration 13 : histogramme des écarts entre le Z GPS et le Z nivelé, pour la zone La Chartroulle

2.2. MATERIEL ET ACQUISITION GRAVIMETRIQUE

Un gravimètre de terrain Scintrex CG-5 (le CG5 #1215) a été utilisé pour effectuer les mesures gravimétriques. Nous tenons à remercier l'INSU pour le prêt de ce gravimètre, et notamment Gwendoline Métivier et Nicolas Le Moigne.

Le coefficient de calibration du gravimètre ne nous a pas été communiqué par l'INSU, et une valeur de 1 a été utilisée.

Une base gravimétrique a été implantée pour chaque zone d'étude. La base de référence est celle de la zone Z3 (Illustration 4), qui a été reliée par deux aller et retours gravimétriques aux bases des zones Z1 et ZR1, ZR2 et ZR3. Les bases des zones La Chartroulle et le Saillant ont été reliées à aucune autre base du fait de leur éloignement.

L'ensemble des mesures gravimétriques a été effectué en 46 programmes, dont la durée de chacun d'entre eux n'a pas excédée 1h15. Un programme de mesures, pendant lequel 15 stations gravimétriques sont typiquement mesurées, débute et se termine par une mesure à la base gravimétrique pour contraindre la dérive instrumentale temporelle du gravimètre relatif Scintrex CG-5. Cette dérive est approximée comme étant linéaire avec le temps.

Le mode d'acquisition du gravimètre utilisé a été le suivant :

- 3 à 5 mesures de 50 s à la base
- 1 à 3 mesures de 50 s à chaque station

Si l'écart-type affiché sur le gravimètre était supérieur à 0.1 mGal à cause d'un fort bruit vibratoire ambiant (véhicule proche, vent) au moment de la mesure, une nouvelle

mesure a été systématiquement réalisée. De même, si l'inclinaison de l'instrument dépassait +- 10 arcs sur la composante X ou Y, une nouvelle mesure a été systématiquement réalisée avec des inclinaisons réajustées.

132 stations gravimétriques ont été reprises au moins une fois, totalisant 21% de stations reprises.

La hauteur du gravimètre a été systématiquement mesurée avec un mètre ruban, et cette hauteur a été utilisée pour projeter au sol les valeurs de g en utilisant un gradient vertical usuel de 0.3086 mGal m^{-1}.

2.3. REDUCTION DES DONNEES VERS L'ANOMALIE DE BOUGUER

L'ensemble du traitement des données a été réalisé par Thomas Jacob, avec des codes développés au BRGM.

La réduction des données gravimétriques vise à corriger tous les effets (variations temporelles, différences d'altitudes, effets topographiques, etc.) qui influent sur les données acquises brutes et qui ne présentent pas d'intérêt pour l'interprétation des données relative à la structure du sous-sol. L'anomalie de Bouguer est une anomalie gravimétrique rendant compte de l'ensemble des variations de densité sous la surface topographique.

Les réductions de données suivantes ont été réalisées:

- correction de la marée terrestre gravimétrique (algorithmes de Longman (1959))
- correction de la dérive temporelle du gravimètre, déterminée par la première et dernière occupation de la station de base au sein d'un programme de mesure,
- retrait du g théorique (formule GRS80), fonction de la latitude – qui permet de passer d'une valeur de g à une anomalie,
- correction d'air libre – compensation des effets des variations d'altitude entre les stations,
- corrections de relief (correction de plateau + corrections de terrain) – pour compenser l'effet des reliefs à proximité des points mesures.
- corrections des effets des structures anthropiques: murs des bâtiments, caves des habitations…

L'anomalie de Bouguer A_B s'exprime ainsi:

$$A_B = g_{mes} - g_{th} + (dg/dz)\,h - 2\pi G \rho_b h + \rho_b T + T_A \text{ (eq. 1)}$$

où ρ_b est la densité de réduction de Bouguer, h l'altitude du point considéré (en mètres), dg/dz le gradient vertical dit à 'l'air libre', G la constante de gravitation universelle et T est la correction de terrain pour un terrain de densité 1 et T_A la correction liée aux masses anthropiques.

2.3.1. Détermination des densités de réduction de l'anomalie de Bouguer

La méthode de Nettleton a été utilisée pour déterminer la valeur de la densité de réduction pour chaque zone d'étude.

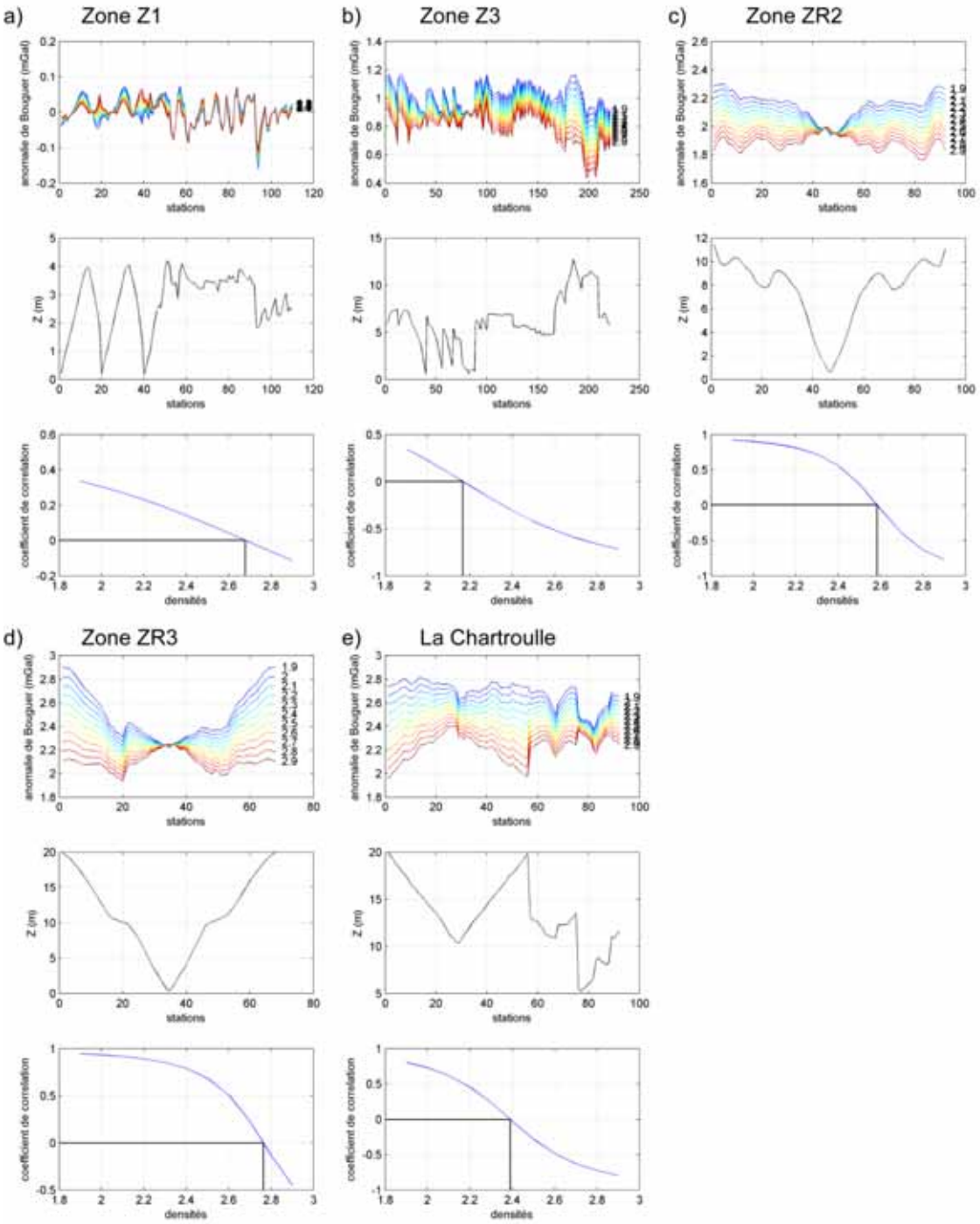


Illustration 14 : Résulats de la méthode de Nettleton pour chaque zone. Panneau du haut, anomalies de Bouguer aux stations pour les densités comprises entre 1.9 et 2.9, par pas de 0.1. Panneau du millieu : topographie des stations. Panneau du bas : coefficient de correlation

entre la topographie et l'anomalie de Bouguer selon les différentes densités. Les traits noirs marquent le coefficient de correlation nul, associé à la densité de réduction optimale.

Cette méthode consiste à calculer l'anomalie de Bouguer (eq 1) pour une large gamme de densités, et à retenir celle qui minimise la corrélation entre l'anomalie de Bouguer et la topographie (Illustration 14). Pour la zone du Saillant, la topographie plane du site n'a pas permise d'appliquer cette méthode. Une densité de 2.7 a été prise pour la zone du Saillant.

Les densités de réduction adoptées pour chaque zone sont résumées dans le tableau suivant.

Zone	Densité adoptée
Z1	2.7
Z3	2.2
ZR2	2.6
ZR3	2.7
La Chartroulle	2.4
Le Saillant	2.7

Tableau 1 : densités de réduction adoptées pour chaque zone

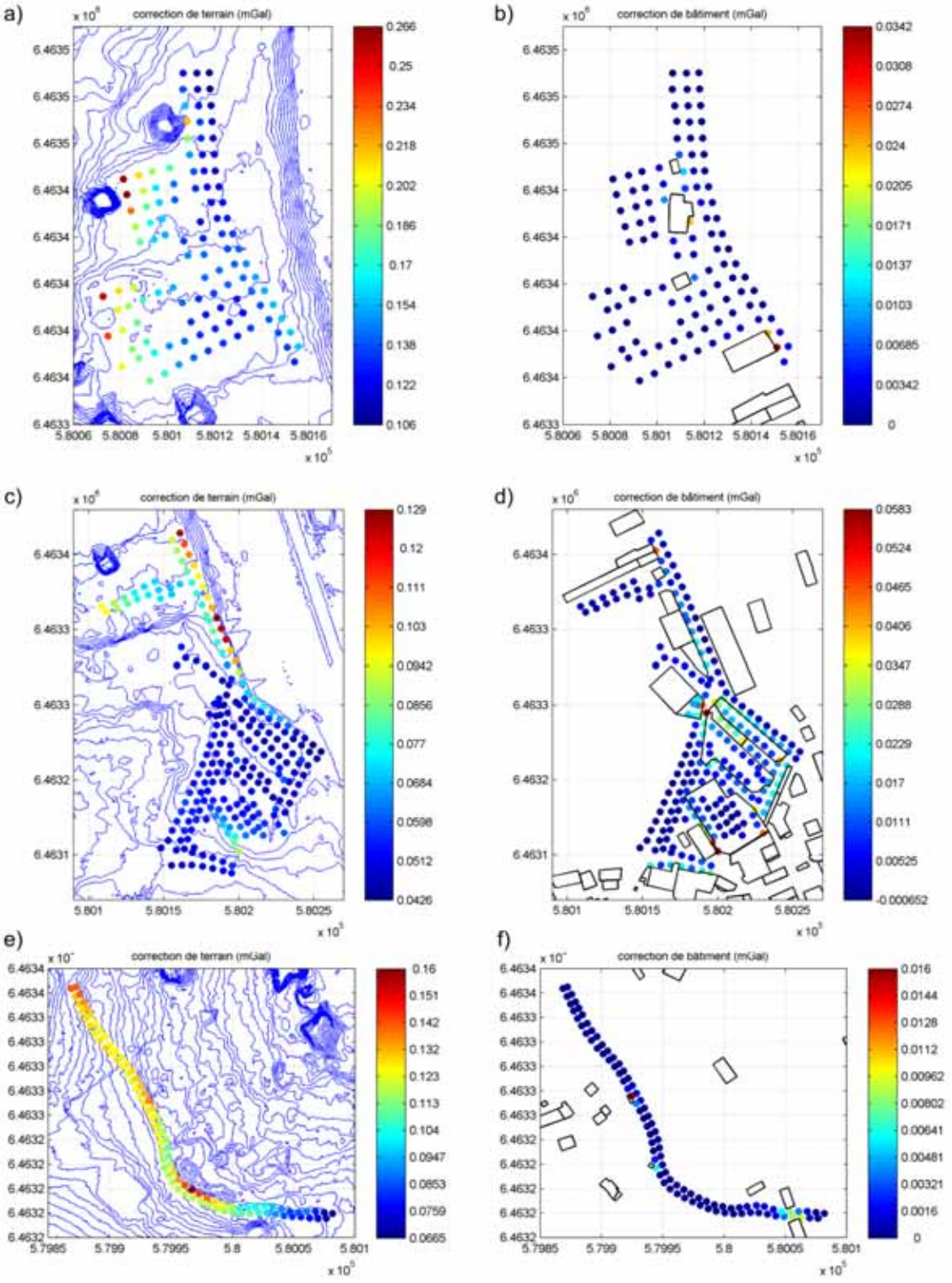
A part pour les zones Z3 et La Chartroulle, les densités issues de la méthode de Nettleton sont comprises entre 2.6 et 2.7, ce qui est proche de la densité d'un schiste ardoisier. La densité de 2.2 de la zone Z3 peut être due à la forte urbanisation de la zone (Illustration 4), qui va de pair avec l'utilisation de remblais moins denses que le schiste ardoisier.

2.3.2. Corrections de terrain et de bâtiments

Les corrections de terrain (CT) ont été réalisées en prenant en compte la topographie sur un rayon de 300 m autours de chaque station, en utilisant le MNT LIDAR du RGE ALTI® de l'IGN, au pas de 1 m. La méthode de calcul est basée sur l'attraction d'un prisme. Pour la zone du Saillant, ou le MNT LIDAR est indisponible ; nous avons créé un MNT à partir du nivellement des stations et de points levés au GPS différentiel (hauts et bas de talus, zones de rupture de pente), complété par le MNT BD Alti de l'IGN au pas de 25m, ré-échantillonné au pas de 5 m.

Nous avons utilisé le cadastre pour la délimitation de l'emprise des bâtiments et avons considéré des murs de 40 cm d'épaisseur et de densité 1.8, pour la correction de ces effets. La hauteur des murs a été relevée sur le terrain. La méthode de calcul utilisée est celle des lignes de masses : en prenant en compte hauteur, épaisseur et densité des murs, ceux-ci sont discrétisées en lignes de masses équivalentes à un pas de 0.1 m, et leur effet calculé sur les stations.

Les corrections topographiques et les corrections liées aux bâtiments sont illustrées à l'Illustration 15, pour chaque zone. Les valeurs de CT sont maximales pour la zone La Chartroulle, et minimales pour la zone du Saillant, du fait de la topographie accidentée à La Chartroulle, et plane au Saillant. L'effet des bâtiments est maximal pour la zone Z3 (Illustration 15d), du fait de la proximité de certaines stations aux murs. Notons que l'effet des murs atteint au plus 0.058 mGal sur cette zone.


a)
correction de terrain (mGal)
b)
correction de bâtiment (mGal)
c)
correction de terrain (mGal)
d)
correction de bâtiment (mGal)
e)
correction de terrain (mGal)
f)
correction de bâtiment (mGal)

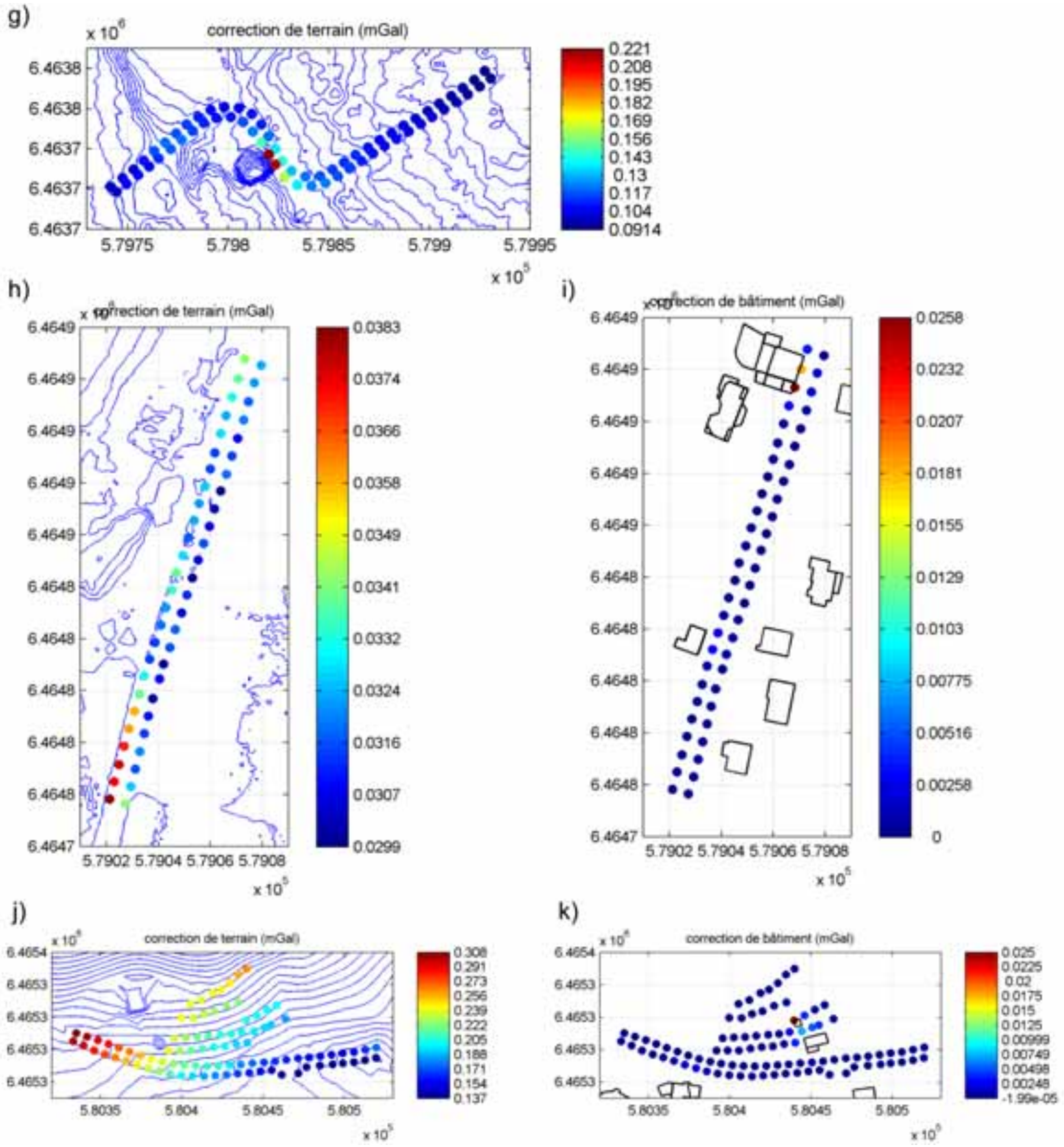


Illustration 15 : Corrections (mGal) liées à l'effet de la topographie et des murs des habitations (polygones noirs), à apporter aux valeurs de l'anomalie de Bouguer, pour les zones Z1 et ZR1 (a, b), Z3 (c, d), ZR2 (e, f), ZR3 (g), Le Saillant (h, i), et la Chartroulle (j, k).

2.4. PRECISION DE L'ANOMALIE DE BOUGUER

L'erreur totale sur l'anomalie de Bouguer est évaluée classiquement comme la somme quadratique des erreurs élémentaires sur les variables entrant dans son calcul, soit :

$$\varepsilon_{AB} = \sqrt{\varepsilon_g^2 + \varepsilon_{gth}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{CT\_TA}^2} \qquad \text{(eq. 2)}$$

Le détail de ces erreurs est détaillé ci-après.

· Erreur sur g (ε_g)

Cette erreur est estimée à partir de l'histogramme des écarts sur les stations occupées plusieurs fois au cours des programmes successifs, appelées reprises.

On appelle 'reprise', la mesure de la gravité sur une station qui a déjà fait l'objet d'une mesure dans un programme de mesure antérieur. Une station peut être reprise plus d'une fois. Les écarts entre les valeurs de l'accélération de la pesanteur g compensées (corrigées de la dérive instrumentale et de la hauteur de trépied), issus de ces reprises, donnent la répétabilité de la mesure au sein d'une étude microgravimétrique, et sont une bonne indication de la précision de l'étude. Les reprises peuvent être aléatoires, pour obtenir la précision d'un levé, ou ciblées, pour vérifier une anomalie décelée.

Un total de 132 stations a été repris, dont 130 ont été reprises une fois et 2 deux fois, pour un total de 136 écarts de reprises. Le pourcentage de stations reprises est de 21%.

La distribution des écarts de reprise suit une distribution Gaussienne centrée sur 0, dont l'écart-type est un bon marqueur de la précision du levé (Illustration 16a). Ici, cet écart-type est de 0.006 mGal. L'histogramme des valeurs absolues de ces écarts (Illustration 16b) et le pourcentage cumulé associé (courbe rouge) est aussi utilisé pour définir l'erreur moyenne de l'étude. Cette dernière est donnée quand le pourcentage cumulé atteint 68%, ce qui correspond statistiquement à l'écart-type d'une distribution gaussienne. L'erreur associée à la mesure de g est de 0.006 mGal.

a b

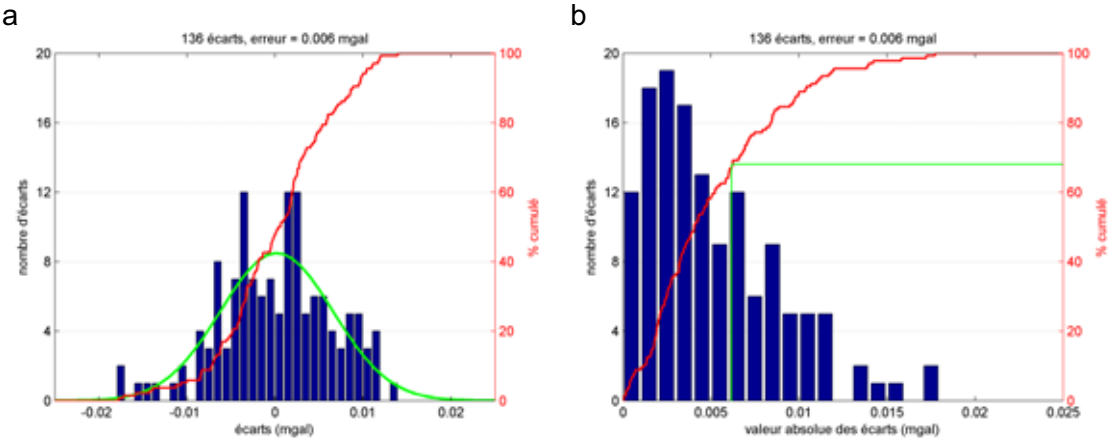


Illustration 16: a) Histogramme des écarts de reprise (barres bleues), pourcentage cumulé (trait rouge), et distribution Gaussienne associée (trait vert), b) Histogramme des valeurs absolues des écarts de reprises (barres bleues) et pourcentage cumulé (trait rouge). Le pourcentage cumulé à 68 % est marqué par les traits verts, et donne l'erreur moyenne sur la mesure de g.

· Erreur sur l'altitude (ε_Z)

On estime à 1 cm la précision du levé altimétrique réalisé au niveau laser. Ceci mène à une erreur de 0.002 mGal sur l'anomalie de Bouguer pour une densité de 2.6.

· Erreur sur g_{th} (ε_{gth})

L'erreur sur g_{th} est fonction de l'erreur sur le positionnement en latitude. Les positions des stations levées au GPS différentiel sont données à +- 0.1 m, ce qui mène à une erreur négligeable g_{th}.

· Erreur sur les corrections topographiques et les effets des bâtiments (ε_{CT_TA})

L'erreur sur les CT provient :

- de la résolution des MNTs utilisés : les variations de reliefs sont d'autant mieux restitués que le MNT a une maille fine,
- de la précision des MNTs utilisés,
- du positionnement en X,Y,Z des stations gravimétriques,
- de la méthode de calcul de l'effet gravifique des reliefs.

Comme le champ de gravité décroit avec l'inverse de la distance au carré, il est important que le MNT utilisé en champ proche sur la zone 0-50 m soit le plus résolu et le plus précis possible. Au-delà, un MNT moins résolu est généralement utilisé, la perte de résolution et de précision ayant un moindre impact sur la valeur de la CT.

Le MNT utilisé pour les CT est de très bonne qualité : ce MNT provient d'un levé LIDAR du RGE ALTI® de l'IGN au pas de 1 m, avec un écart de +- 0.1 m entre les altitudes MNT et les altitudes nivelées (voir section 2.1).

Une bonne restitution des reliefs en zone proche des stations est ainsi assurée, et par la même une correction topographique de bonne précision. Seule la zone de La Chartroulle n'a pas bénéficiée de ce MNT.

L'erreur sur les corrections liées aux bâtiments peut être due à une erreur sur les paramètres géométriques de ceux-ci : hauteur, épaisseur, positionnement par rapport aux stations, et à la densité utilisée.

De manière empirique, l'erreur sur la CT et sur l'effet des bâtiments est considérée égale à 10% de la valeur moyenne de la dynamique de la correction topographique et de bâtiment sur l'étude.

L'erreur sur les CT et sur l'effet des bâtiments dépend ainsi de la dynamique de la CT de l'effet des bâtiments sur chaque zone, elle est maximale à La Chartroule, atteignant 0.017 mGal, et minimale au Saillant, de l'ordre de 0.001 mGal (Tableau 2).

· Erreur totale sur l'anomalie de Bouguer (ε_{AB})

L'erreur sur l'anomalie de Bouguer est calculée selon l'équation (2), et varie entre 0.006 mGal et 0.018 mGal selon les sites (Tableau 2).

L'erreur sur l'anomalie de Bouguer est dominée par l'erreur sur les CT et les effets des bâtiments.

· Seuil de signification

Le seuil de signification de l'étude est définit comme étant deux fois l'erreur totale sur l'anomalie de Bouguer de l'étude, et varie entre 0.013 mGal au Saillant et 0.036 mGal à la Chartroulle (Tableau 2).

Un niveau de confiance supérieur à 95% est à accorder aux anomalies dont l'amplitude est supérieure au seuil de signification sur chaque site.

Zone	ε_g	ε_Z	ε_{CT_TA}	ε_{AB}	seuil de signification
Z1 ZR1	0.006	0.002	0.016	0.017	0.034
Z3	0.006	0.002	0.008	0.010	0.020
ZR2	0.006	0.002	0.01	0.012	0.024
ZR3	0.006	0.002	0.015	0.016	0.033
Le Saillant	0.006	0.002	0.001	0.006	0.013
La Chartroulle	0.006	0.002	0.017	0.018	0.036

Tableau 2 : Récapitulatif des erreurs et seuil de signification pour chaque zone.

3. Anomalie de Bouguer, anomalie régionale, et anomalie résiduelle

L'anomalie de Bouguer est fonction de l'ensemble des variations de densité sous la surface topographique : ces variations peuvent être localisées superficiellement ou en profondeur. Les valeurs élevées de l'anomalie de Bouguer sont caractéristiques de matériaux denses, alors que les valeurs faibles caractérisent des matériaux moins denses.

Pour accéder aux courtes longueurs d'ondes liées aux variations de densités superficielles, typiquement dans les 50 premiers mètres sous la surface, objet de cette étude, les grandes longueurs d'onde doivent être retirées de l'anomalie de Bouguer via l'anomalie régionale.

L'anomalie régionale est obtenue par projection vers le haut de 15 à 30 m de l'anomalie de Bouguer, selon les zones d'étude. Cette opération, effectuée dans le domaine fréquentiel, atténue les plus faibles longueurs d'ondes. Nous avons choisi ce mode d'obtention de l'anomalie régionale car il induit moins d'effets de bords que pour une régionale obtenue par ajustement d'une surface polynomiale, notamment pour les zones d'études sur la voirie seules (zones ZR2, ZR3, Le Saillant).

L'anomalie résiduelle est obtenue en soustrayant l'anomalie régionale à l'anomalie de Bouguer, et fait ressortir les variations de gravité en lien avec les variations de densité de la subsurface, objet de cette étude.

Dans ce qui suit, les anomalies de Bouguer, régionales et résiduelles sont présentées pour chaque zone d'étude.

3.1. ZONES Z1 ET ZR1

L'anomalie de Bouguer pour les zones Z1 et ZR1 (Illustration 17) présente une dynamique de 0.4 mGal avec des valeurs élevées au Nord, et des valeurs plus faibles au Sud-Ouest.

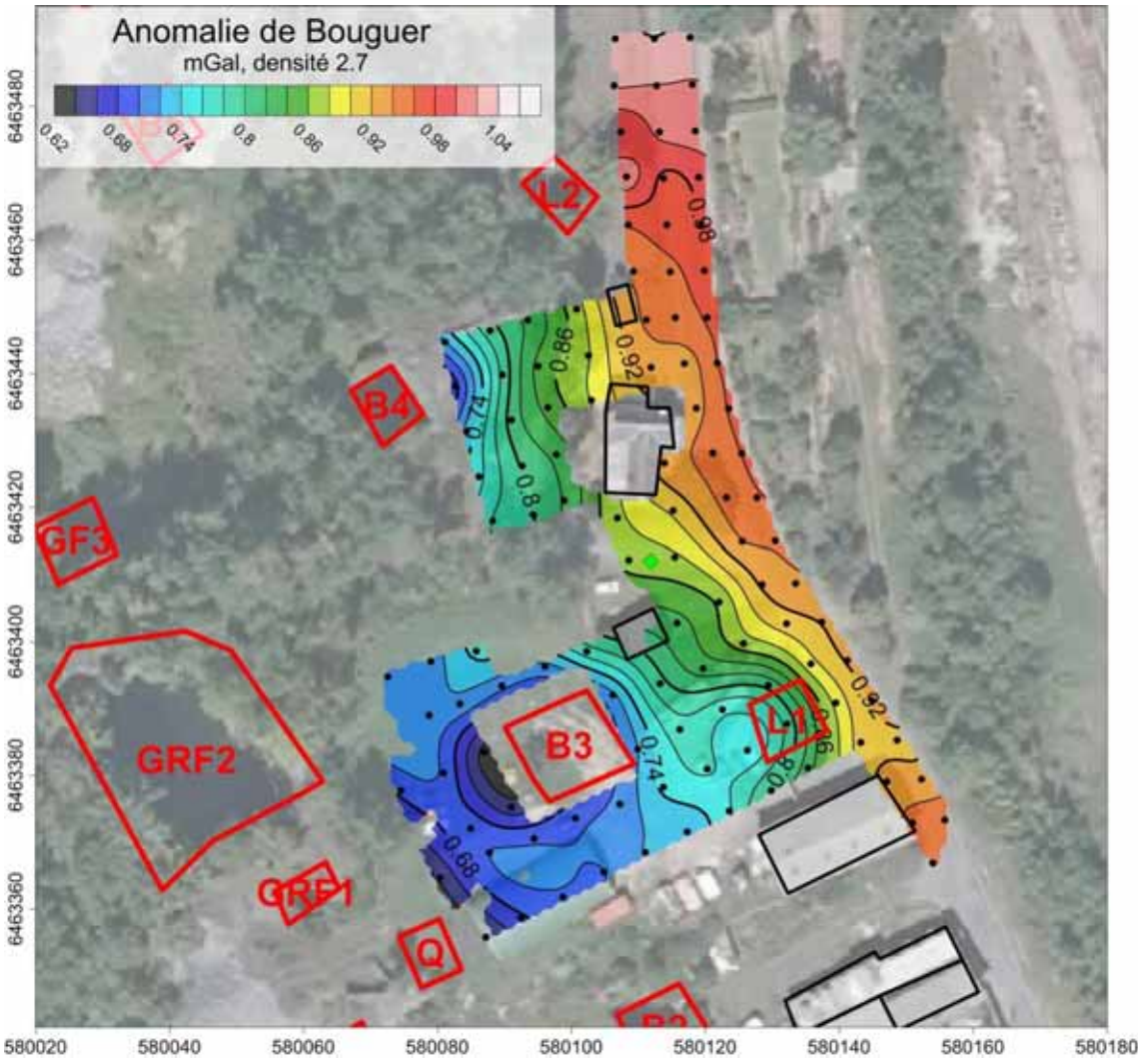


Illustration 17 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.7 des zones Z1 et ZR1. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal.

L'anomalie régionale est obtenue par prolongement de 15 m vers le haut, et est présentée à l'Illustration 18. L'anomalie résiduelle obtenue (*Illustration 19*), présente deux anomalies significatives, que l'on nomme A1 et A2.

L'anomalie A1 est possiblement à relier au puits B4, alors que l'anomalie A2, bilobée, est à mettre en relation avec les puits B3 et L1 (Illustration 19). L'anomalie A1 atteint -0.1 mGal, et l'anomalie A2 -0.09 mGal proche du puits B3.

Le puits L1 n'est pas centré sur le lobe de l'anomalie A2 en son droit, il est plausible que l'emprise de L1 tel que reporté sur l'Illustration 19 soit un peu décalé, dû au géoréférencement incertain des photographies historiques utilisées pour positionner les têtes de puits.

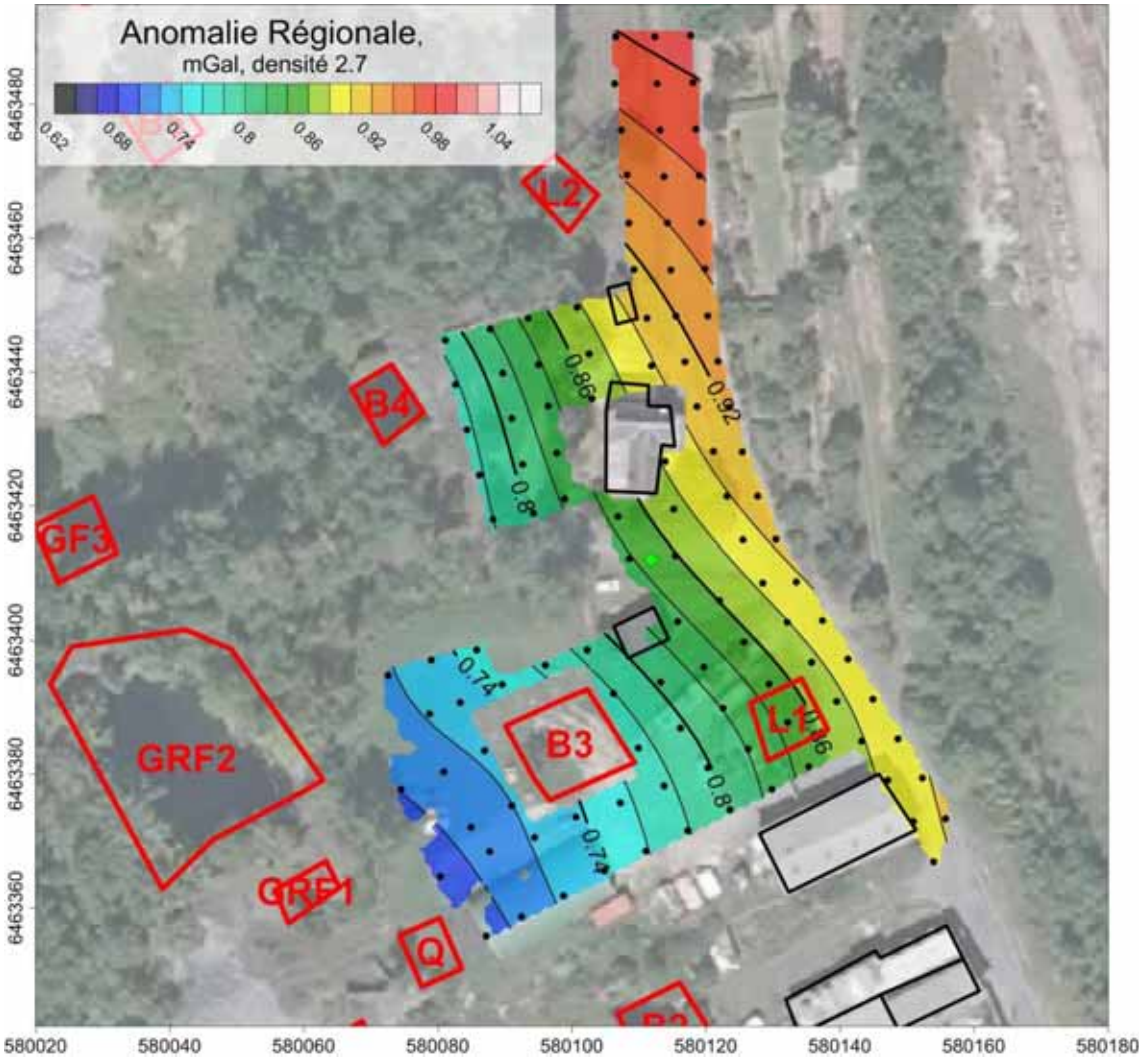


Illustration 18 : Anomalie régionale (mGal) des zones Z1 et ZR1. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal.

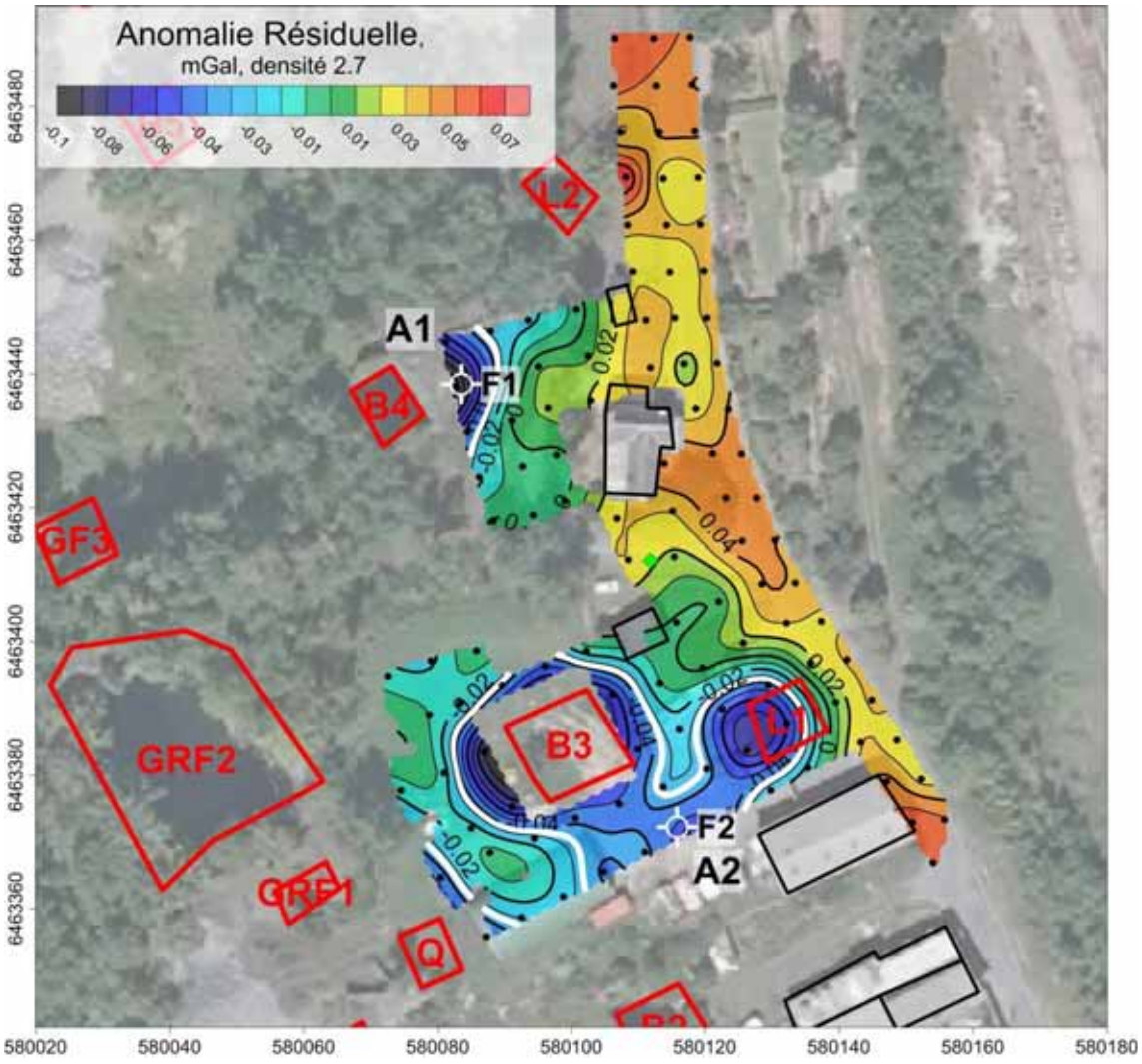


Illustration 19 : Anomalie résiduelle (mGal) pour les zones Z1 et ZR1. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

3.2. ZONE Z3

L'anomalie de Bouguer pour la zone Z3 (Illustration 20) présente une dynamique de 0.4 mGal avec une structuration NNW-SSE, présentant une alternance de valeurs hautes et basses.

L'anomalie régionale est obtenue par prolongement de 30 m vers le haut, et est présentée à l'*Illustration 21*. L'anomalie résiduelle obtenue (*Illustration 22*), présente trois anomalies significatives, A3, A4 et A5.

L'anomalie A3 est peu circonscrite, du fait d'une couverture des stations lacunaire. Elle présente des valeurs importantes inférieures à -0.1 mGal. L'anomalie A4 est bien circonscrite et bilobée, et atteint -0.09 mGal. Cette anomalie est possiblement à relié aux puits R et S. L'anomalie A5 n'est pas circonscrite, et présente un minimum de -0.09 mGal au droit du puits N.

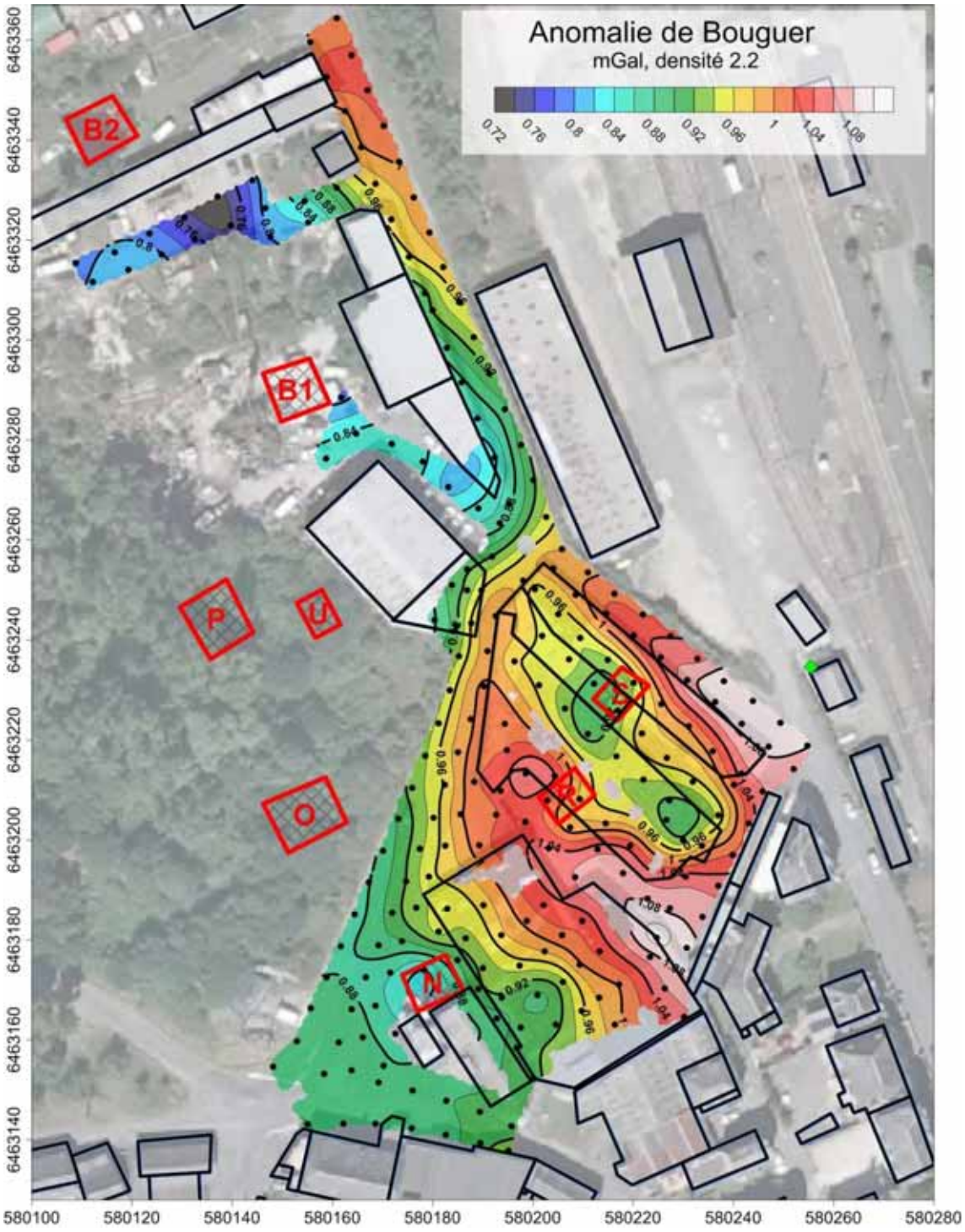


Illustration 20 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.2 de la zone Z3. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal.

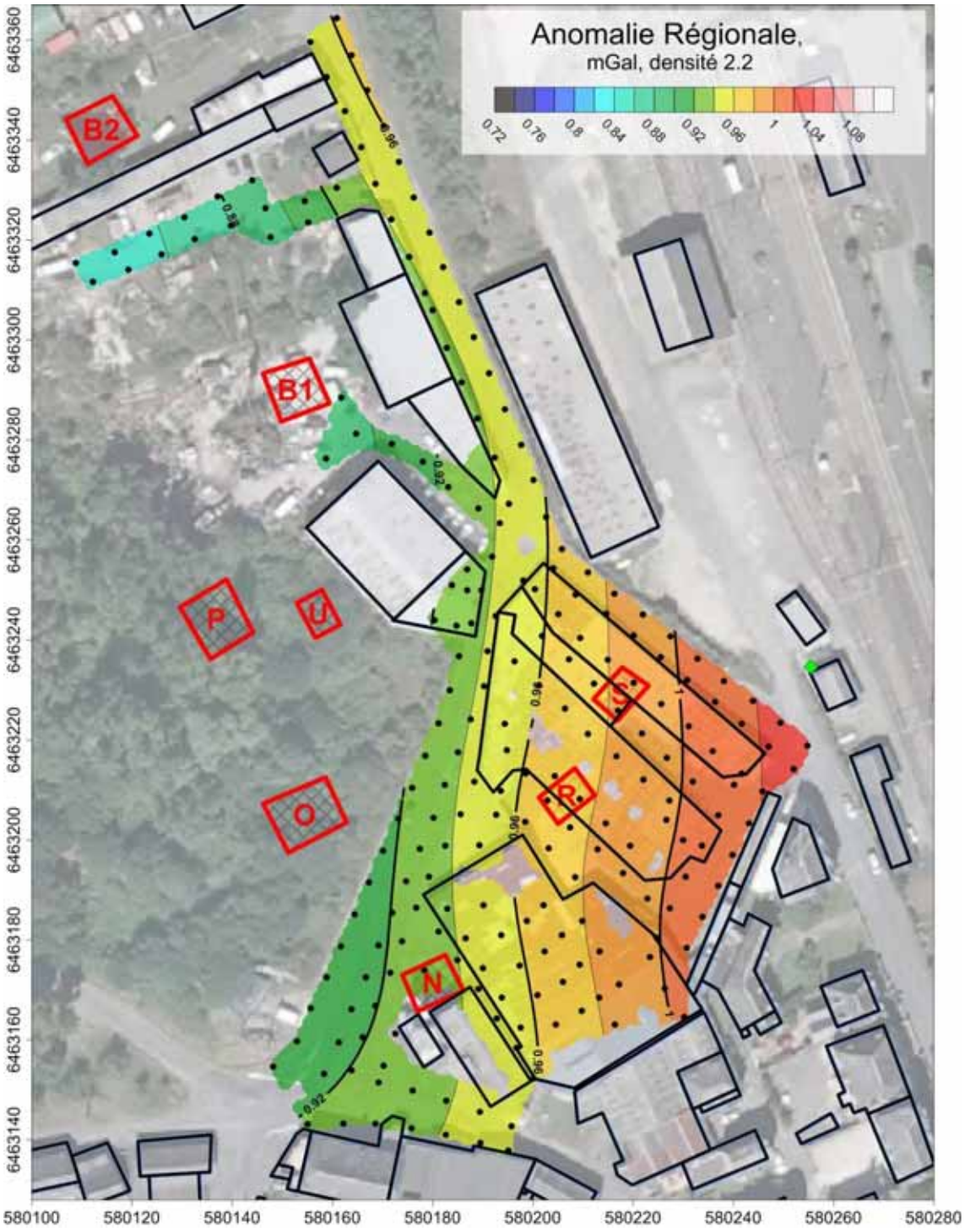


Illustration 21 : Anomalie régionale (mGal) de la zone Z2. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal.

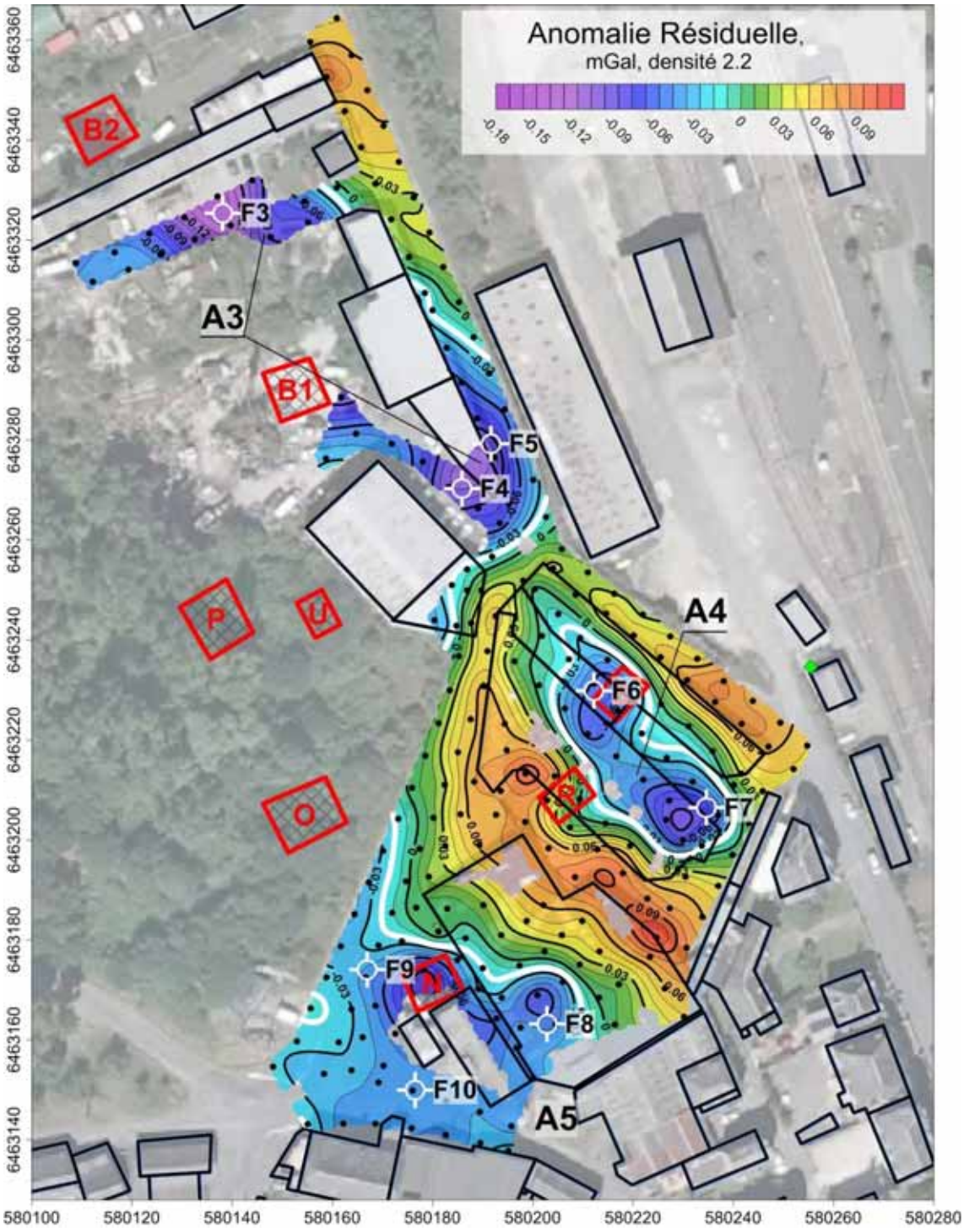


Illustration 22 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone Z3 L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

3.3. ZONE ZR2

L'anomalie de Bouguer pour la zone ZR2 (Illustration 23) présente une dynamique de 0.2 mGal, présentant une alternance de valeurs hautes et basses.

L'anomalie régionale est obtenue par prolongement de 15 m vers le haut, et est présentée à l'*Illustration 24*. L'anomalie résiduelle obtenue (*Illustration 25*), présente trois anomalies significatives, A6, A7 et A8.

L'anomalie A6 est située proche du puits L, est atteint -0.034 mGal. L'anomalie A7 atteint -0.045 mGal. L'anomalie A8 atteint -0.045 mGal, et présente un fort gradient dirigé vers le puits M.

Notons que de par l'implantation des stations sur route uniquement, les anomalies décelées ne pas circonscrites.

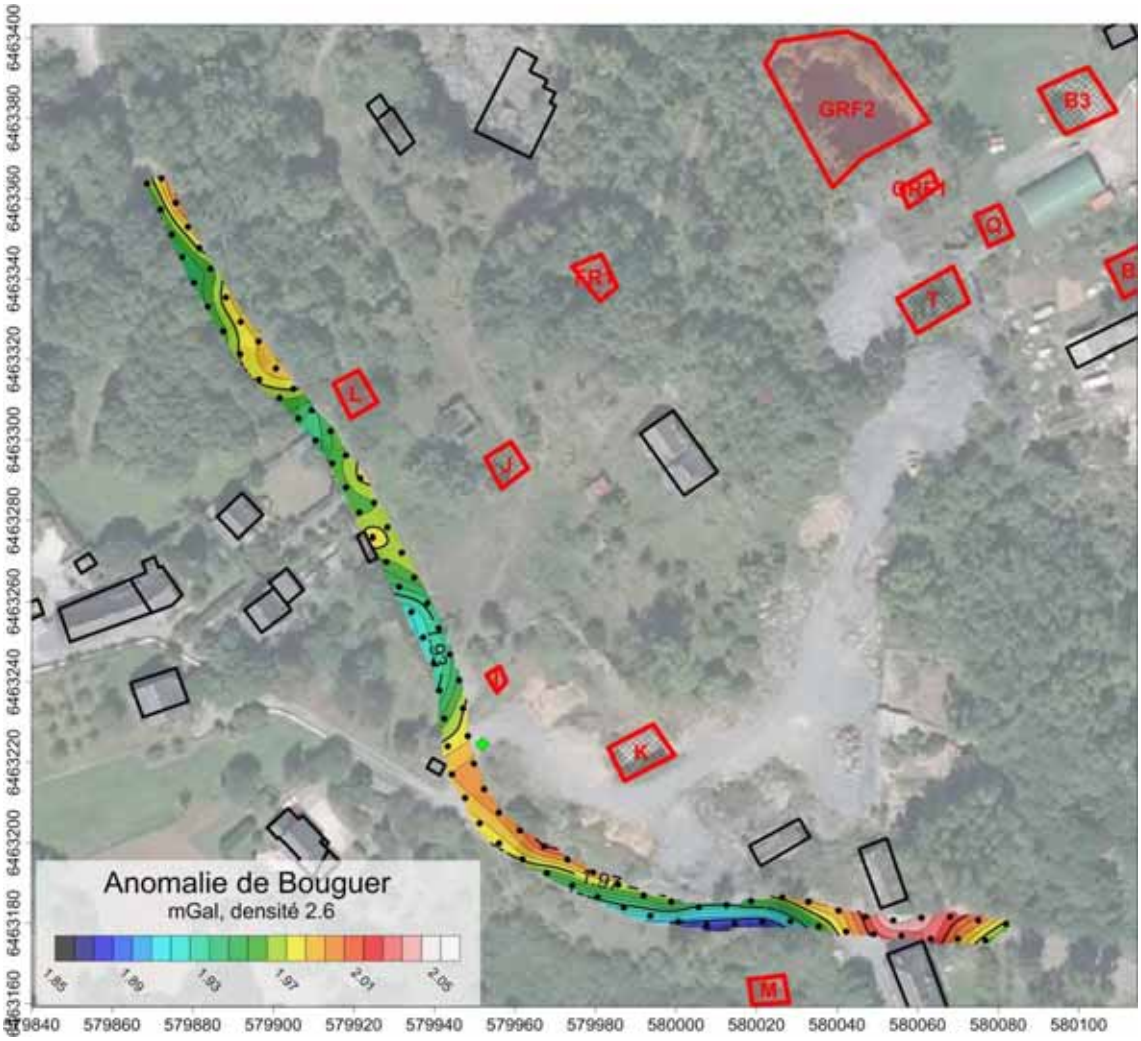


Illustration 23 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.6 de la zone ZR2. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal.

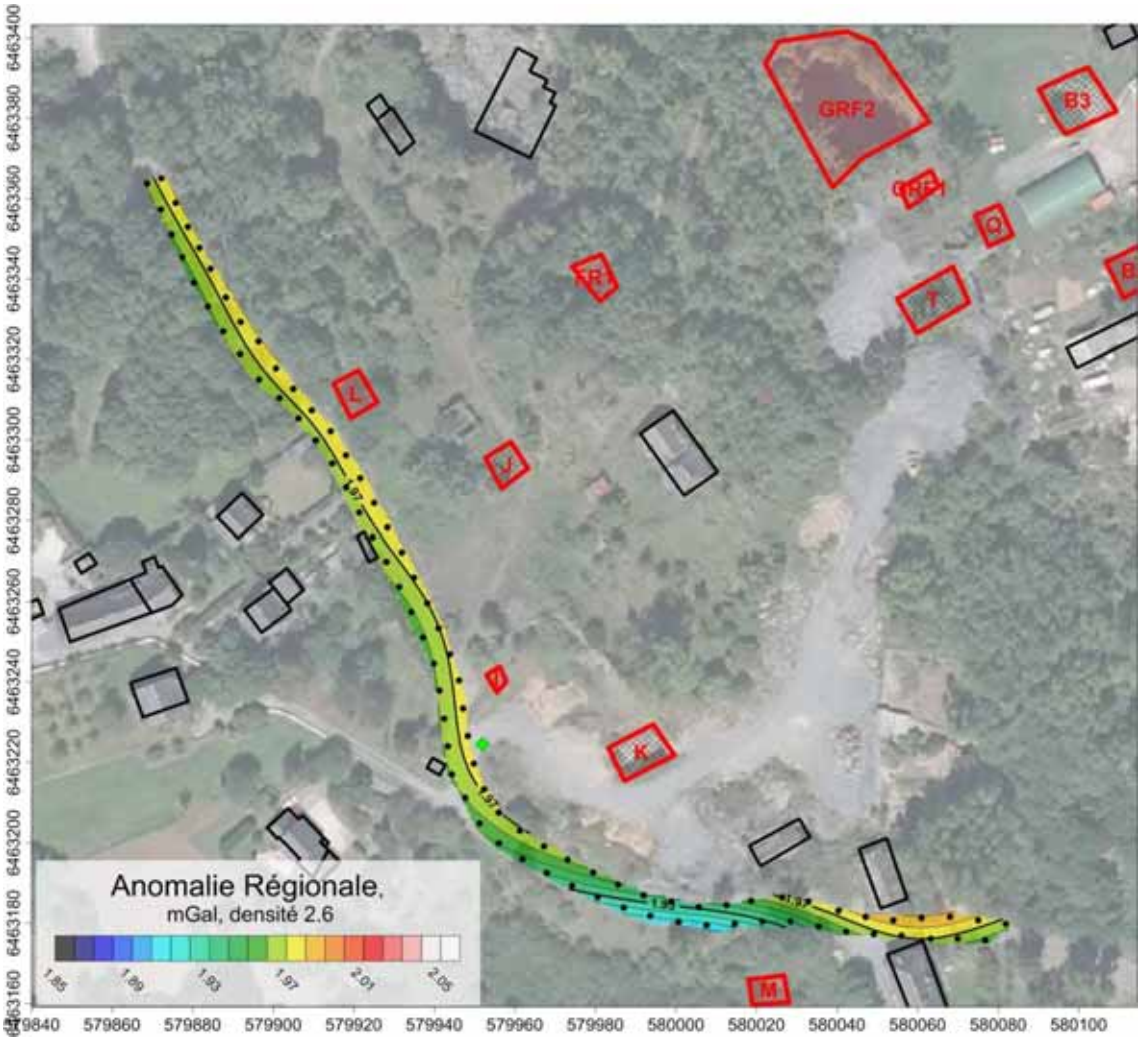


Illustration 24 : Anomalie régionale (mGal) de la zone ZR2. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal.

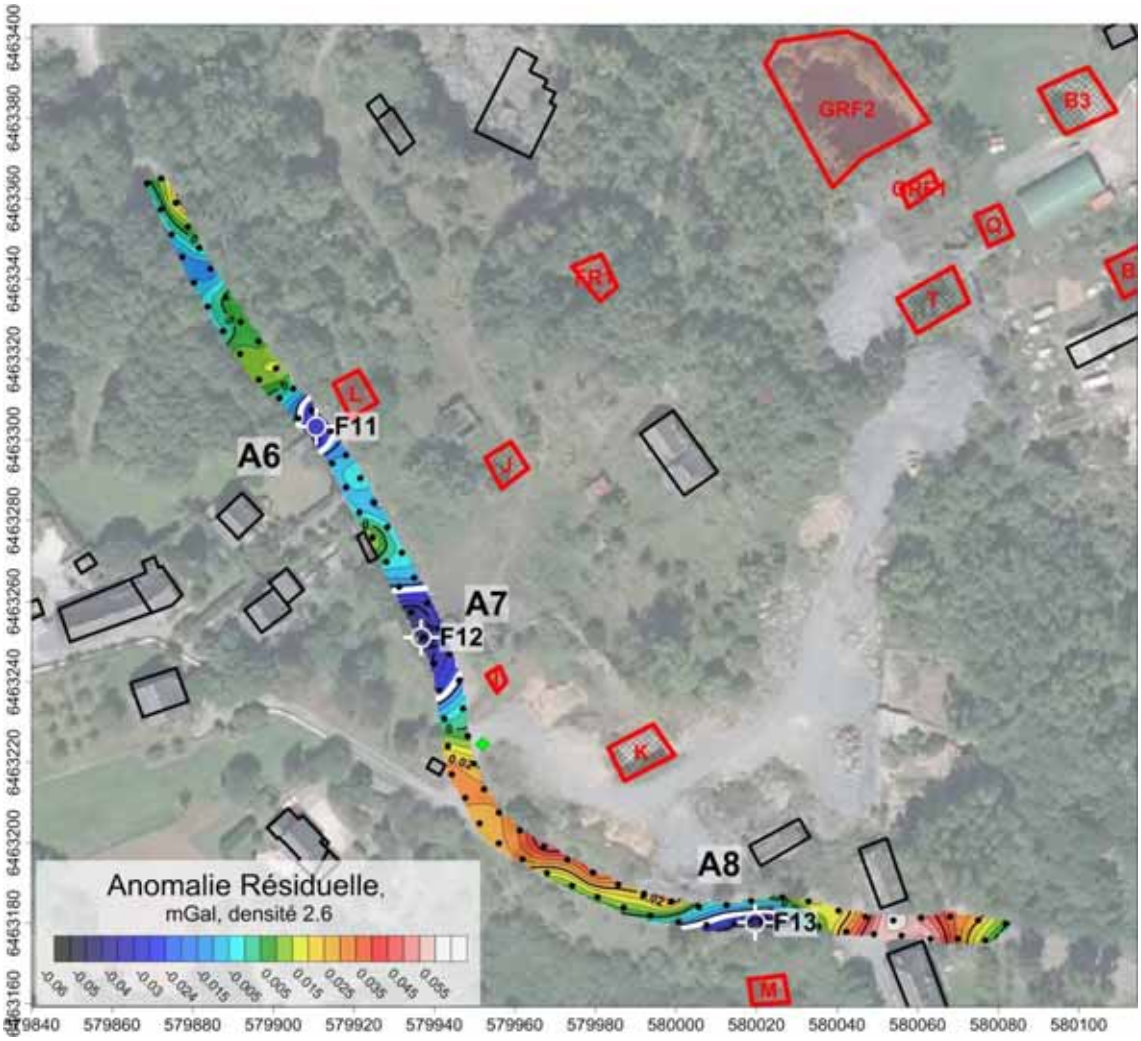


Illustration 25 : Anomalie résiduelle (mGal) pour les zones ZR2. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

3.4. ZONE ZR3

L'anomalie de Bouguer pour la zone ZR3 (Illustration 26) présente une dynamique de 0.29 mGal, présentant des valeurs hautes au SW et au NE, délimitant une zone de faible valeur entre les puits GF6, FC2 et C1.

L'anomalie régionale est obtenue par prolongement de 15 m vers le haut, et est présentée à l'Illustration 27. L'anomalie résiduelle obtenue (Illustration 28), présente une anomalie significative, A9. Cette dernière atteint -0.120 mGal, et se situe entre les puits GF6, FC2 et C1.

De par l'implantation des stations sur route uniquement, les anomalies décelées ne pas circonscrites.

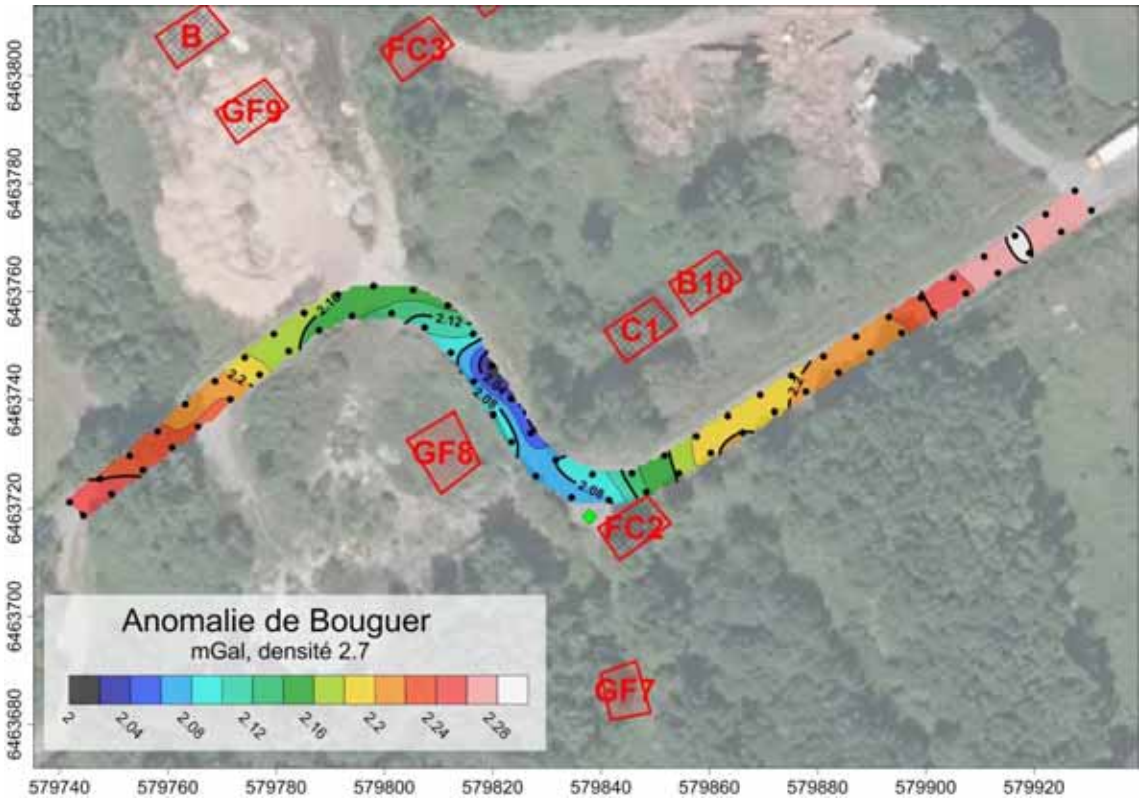


Illustration 26 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.7 de la zone ZR3. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal.

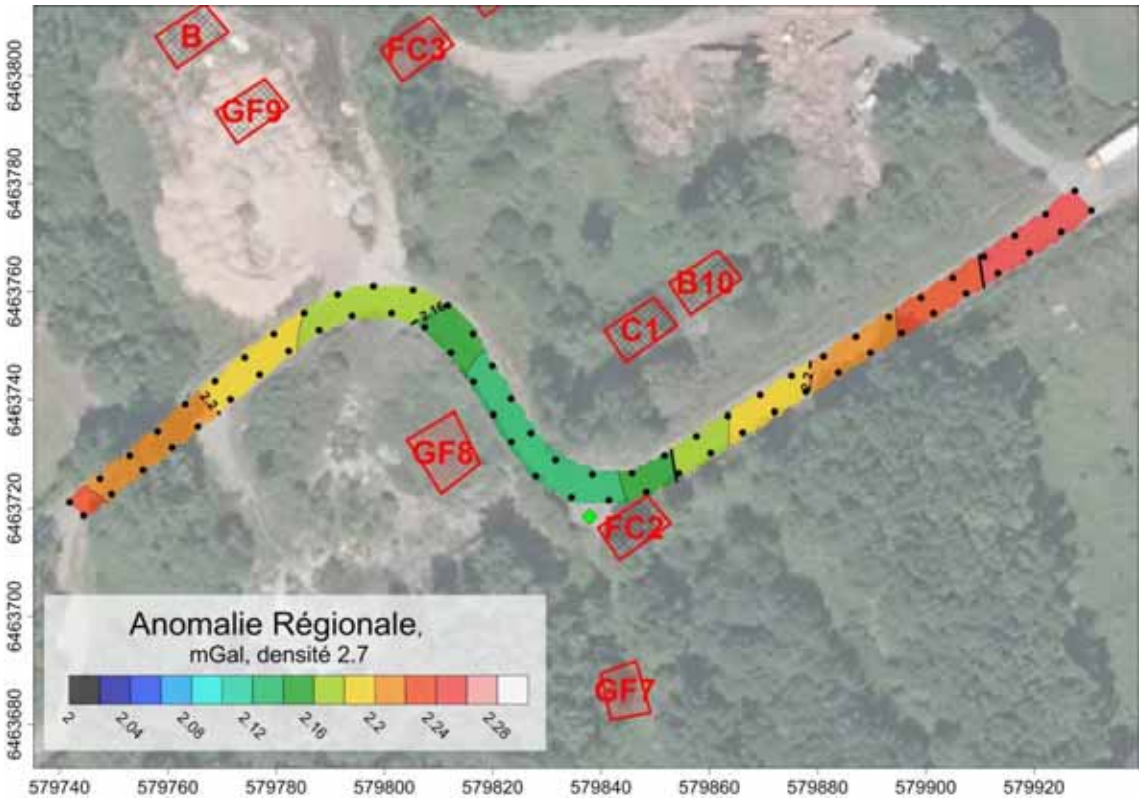


Illustration 27 : Anomalie régionale (mGal) de la zone ZR3. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal.

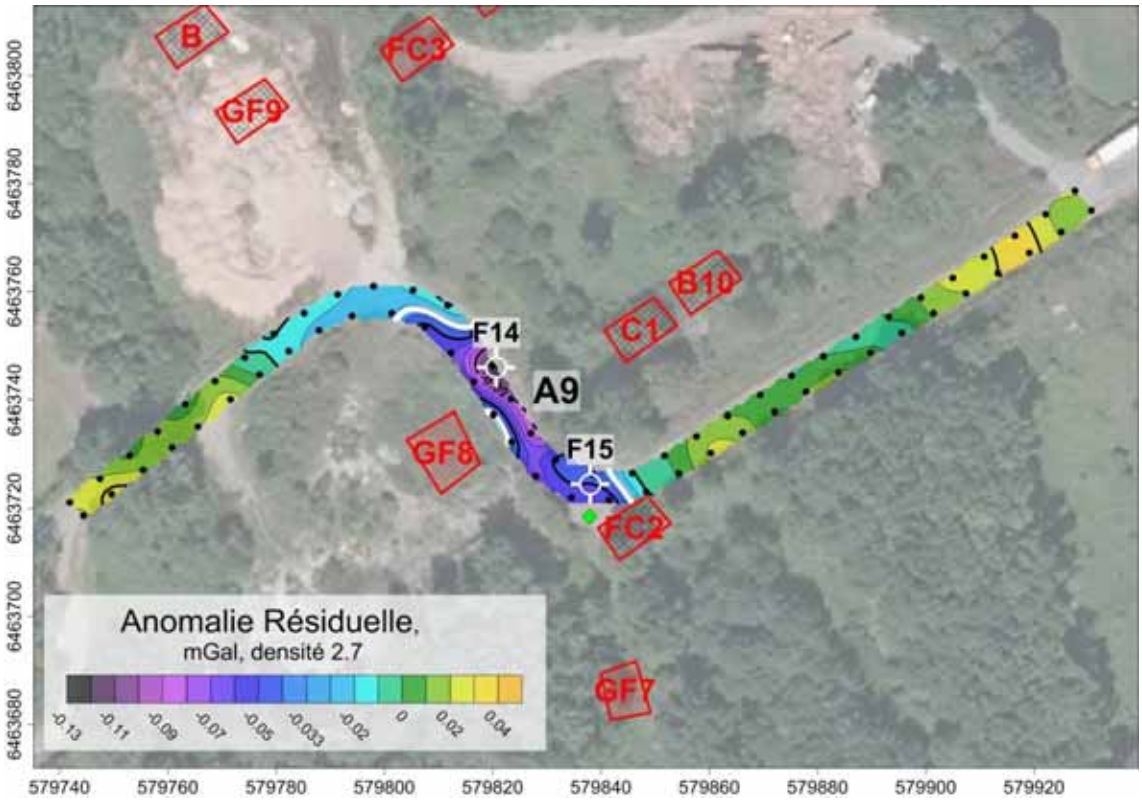


Illustration 28 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone ZR3. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

3.5. LE SAILLANT

L'anomalie de Bouguer pour la zone Le Saillant (Illustration 29) présente une dynamique de 0.25 mGal, avec des valeurs hautes au SSW, et des valeurs plus faibles au centre de la zone.

L'anomalie régionale est obtenue par prolongement de 20 m vers le haut, et est présentée à l'Illustration 30. L'anomalie résiduelle obtenue (Illustration 31), présente deux anomalies significatives, A10 et A11. L'anomalie A10 atteint -0.075 mGal, et a une emprise pluri décimétrique, alors que l'anomalie A11 atteint -0.023 mGal, et est cantonnée au coin NE de la zone. L'anomalie A10 se situe proche du puits observé.

De par l'implantation des stations sur route uniquement, les anomalies décelées ne pas circonscrites.

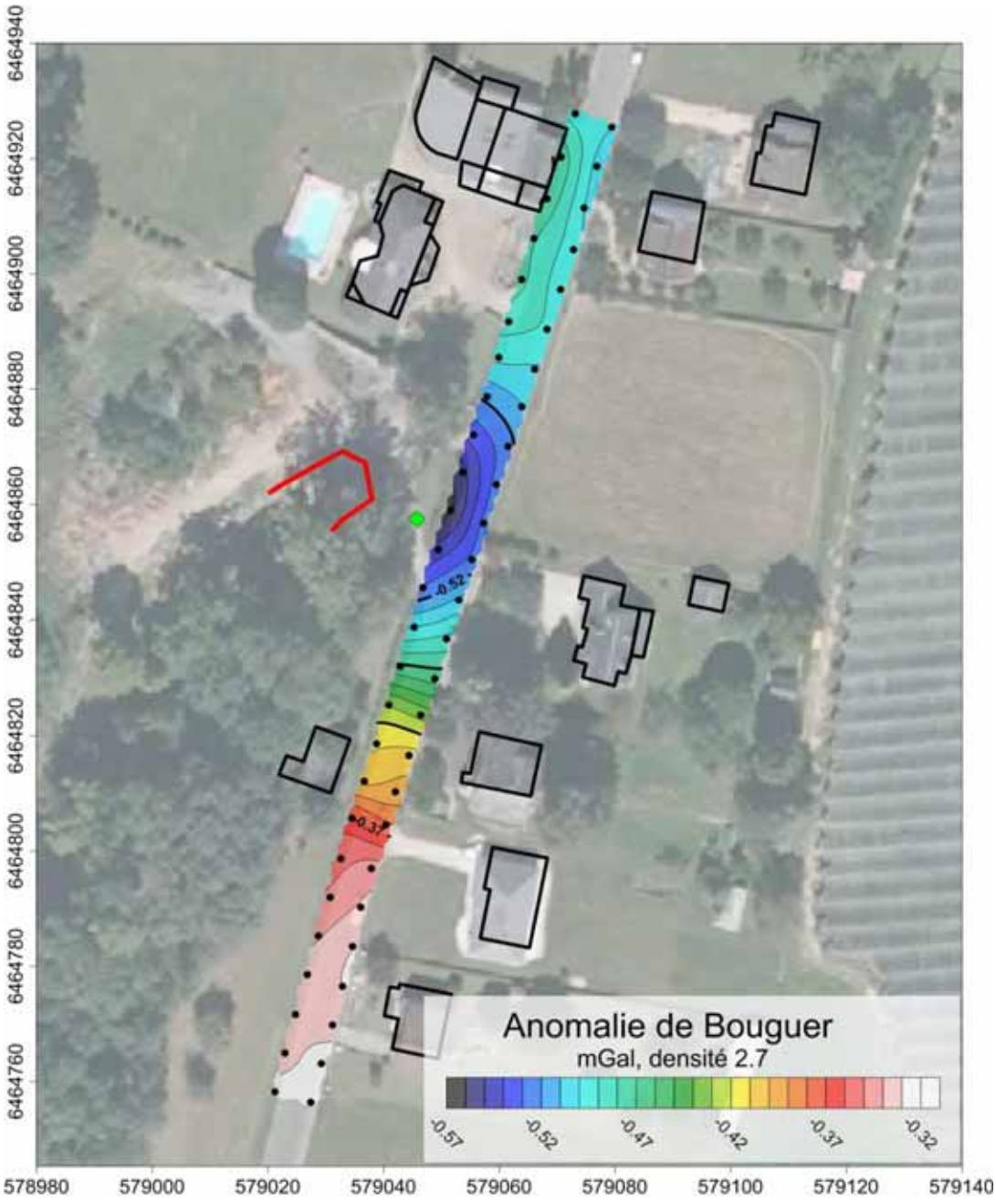


Illustration 29 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.7 de la zone du Saillant. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal. Trait rouges : emprise d'un puits visible.

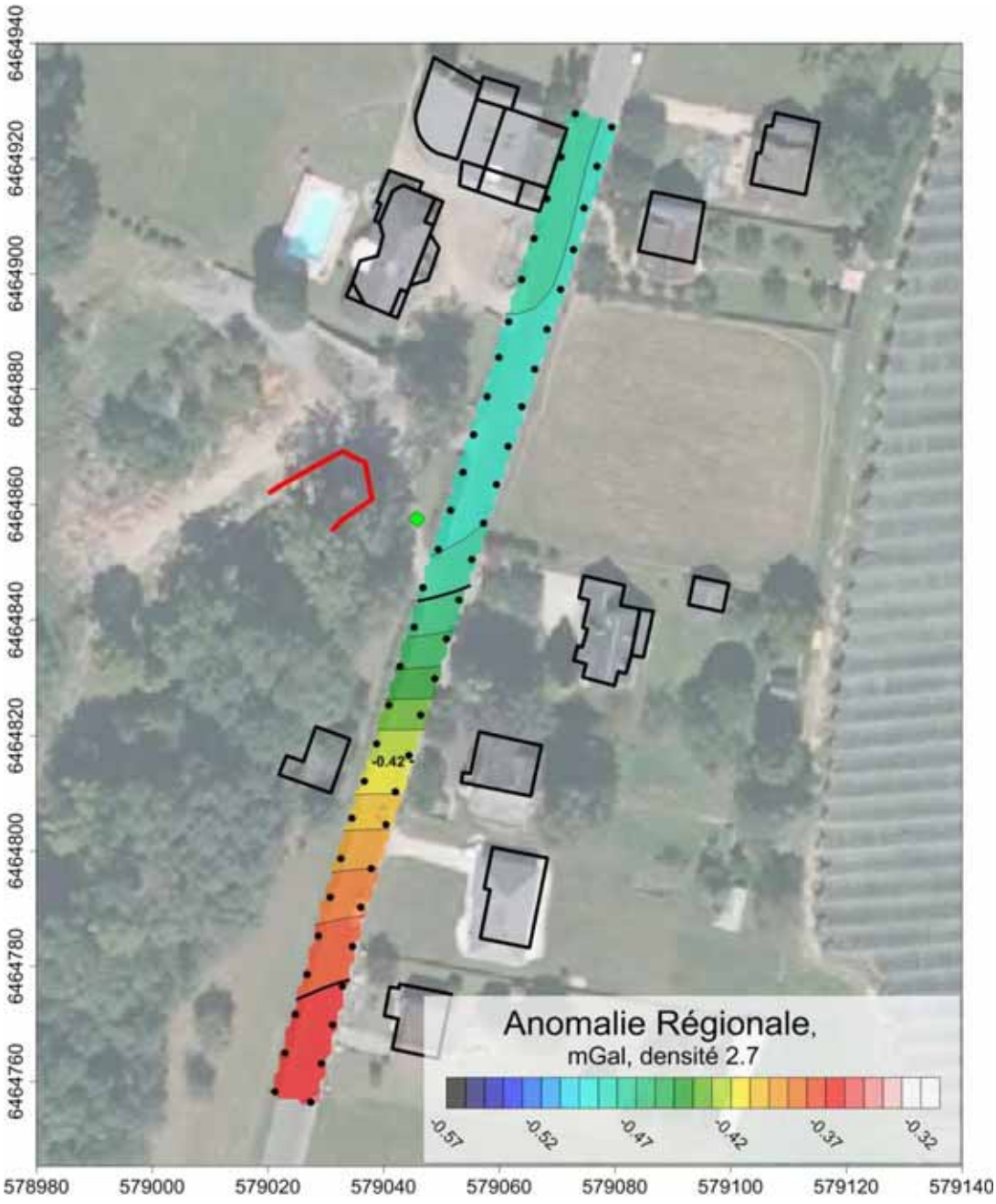


Illustration 30 : Anomalie régionale (mGal) de la zone Le Saillant. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.01 mGal.

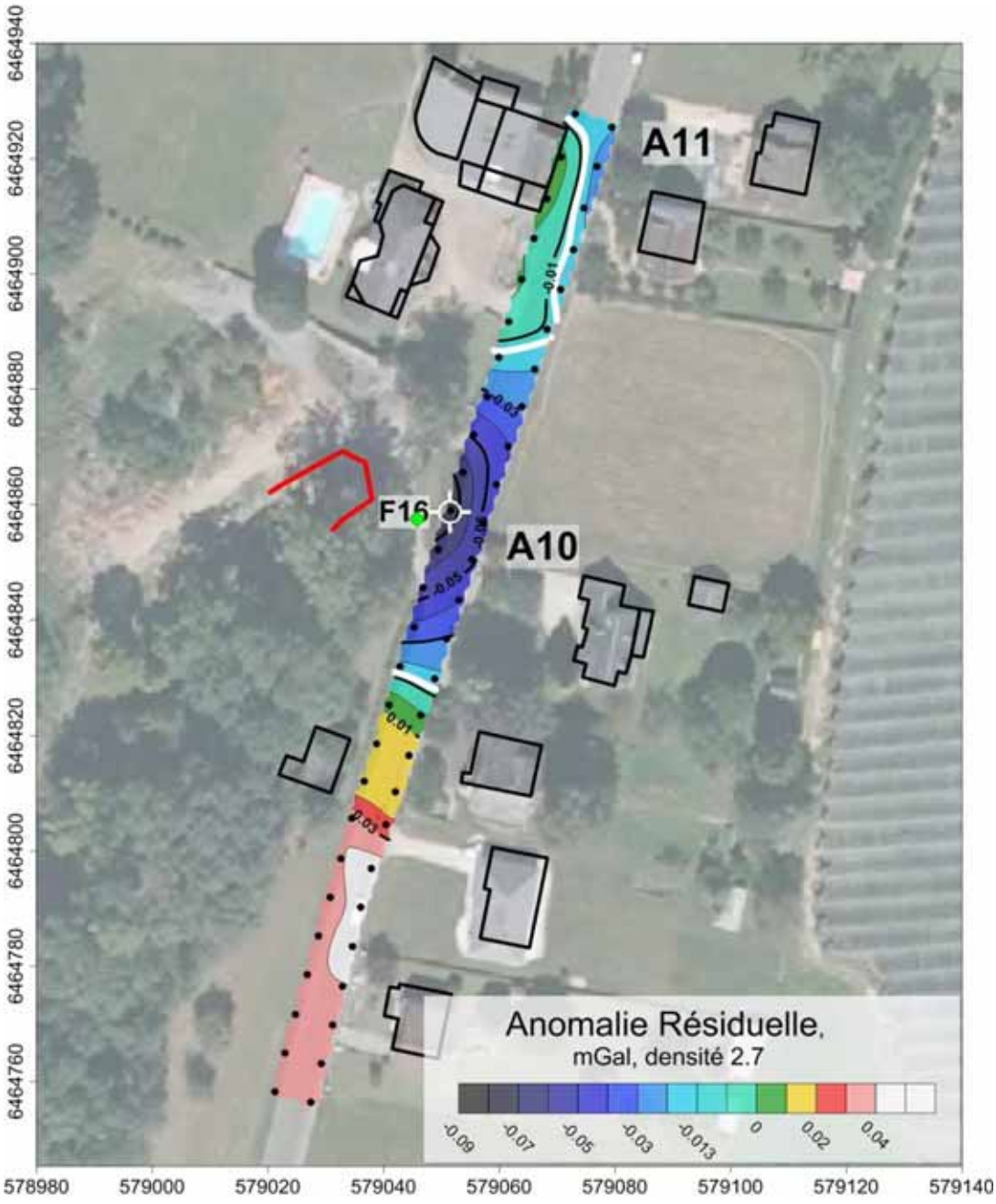


Illustration 31 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone Le Saillant. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

3.6. LA CHARTROULLE

L'anomalie de Bouguer pour la zone de La Chartroulle (Illustration 32) présente une dynamique de 0.54 mGal.

L'anomalie régionale est obtenue par prolongement de 15 m vers le haut, et est présentée à l'Illustration 33. L'anomalie résiduelle obtenue (Illustration 31), présente trois anomalies significatives, A12, A13 et A14. L'anomalie A12 est la plus importante, atteignant -0.085 mGal, alors que les anomalies A13 et A14 atteignent -0.045 et -0.040 mGal, et présentent de plus faibles emprises en surface. L'anomalie A12 est non

circonscrite, et présente un gradient qui se développe dans la direction des indices de puits observés.

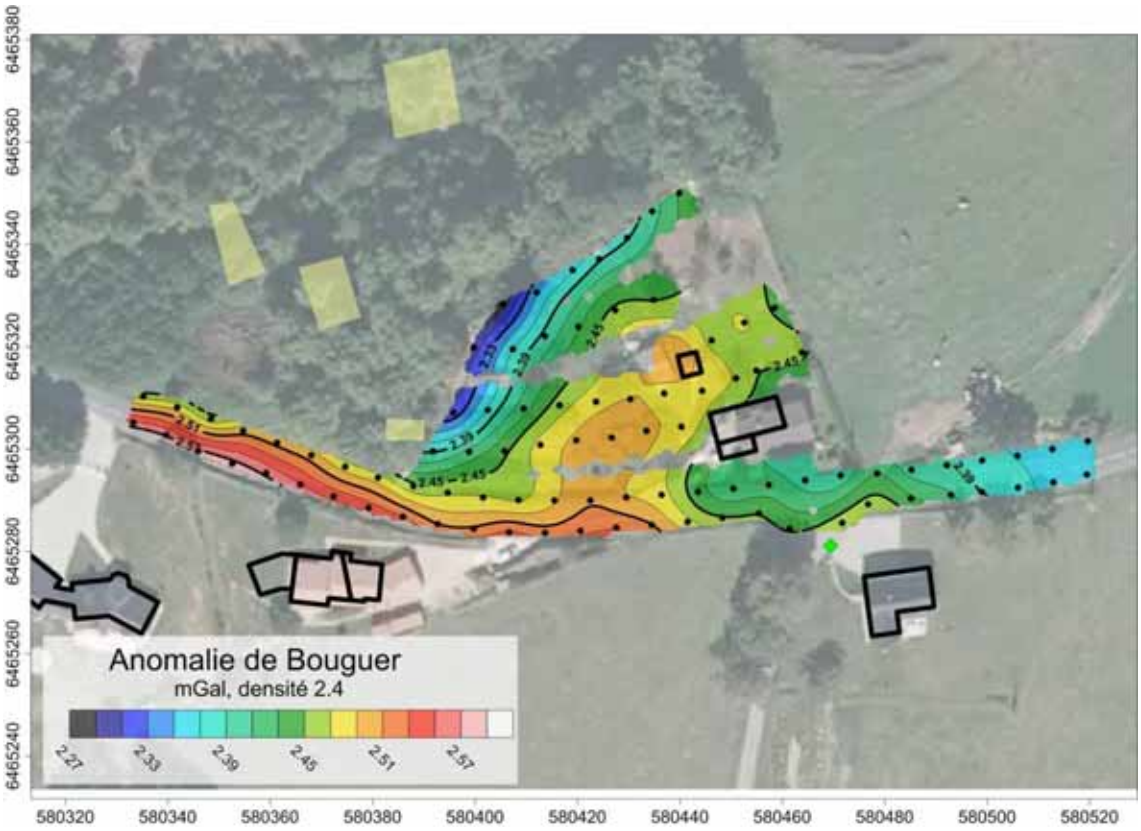


Illustration 32 : Anomalie de Bouguer (mGal) pour une densité de 2.4 de la zone de la Chartroulle. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal. Les surfaces jaunes correspondent à des indices de puits.

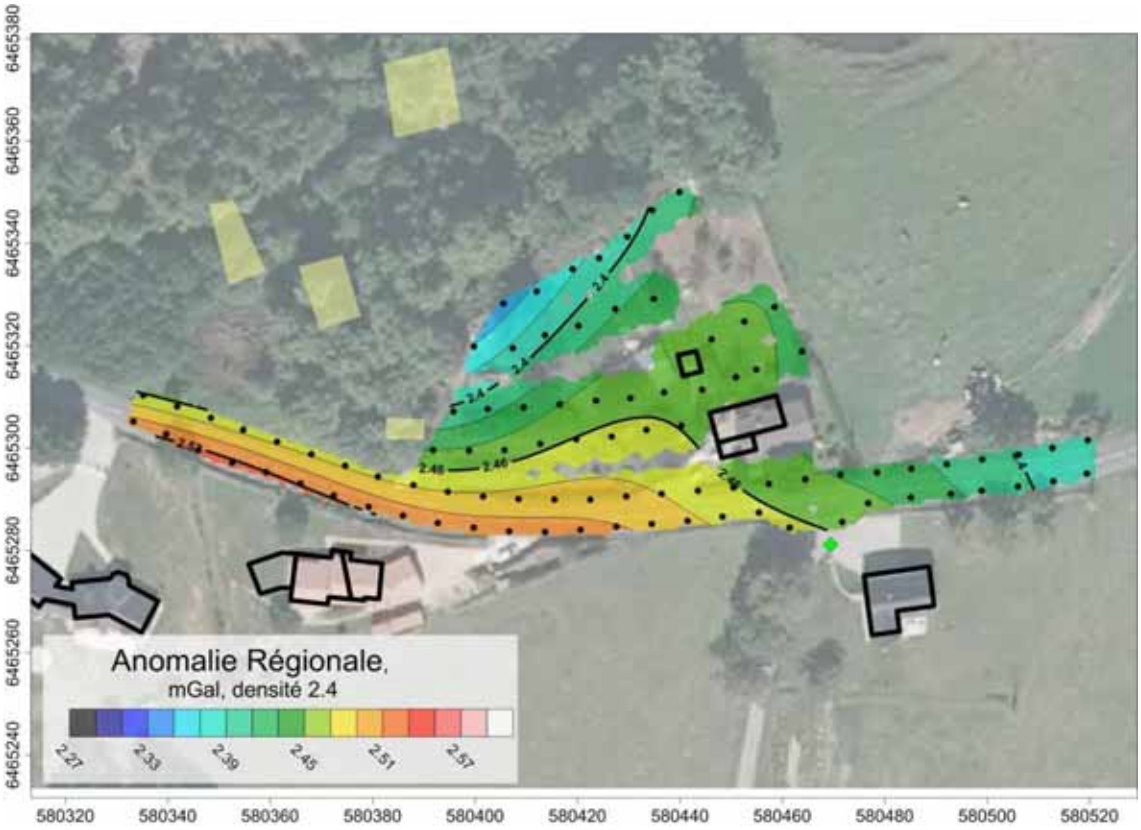


Illustration 33 Anomalie régionale (mGal) de la zone de la Chartroulle. Les courbes d'isovaleur sont tous les 0.02 mGal.

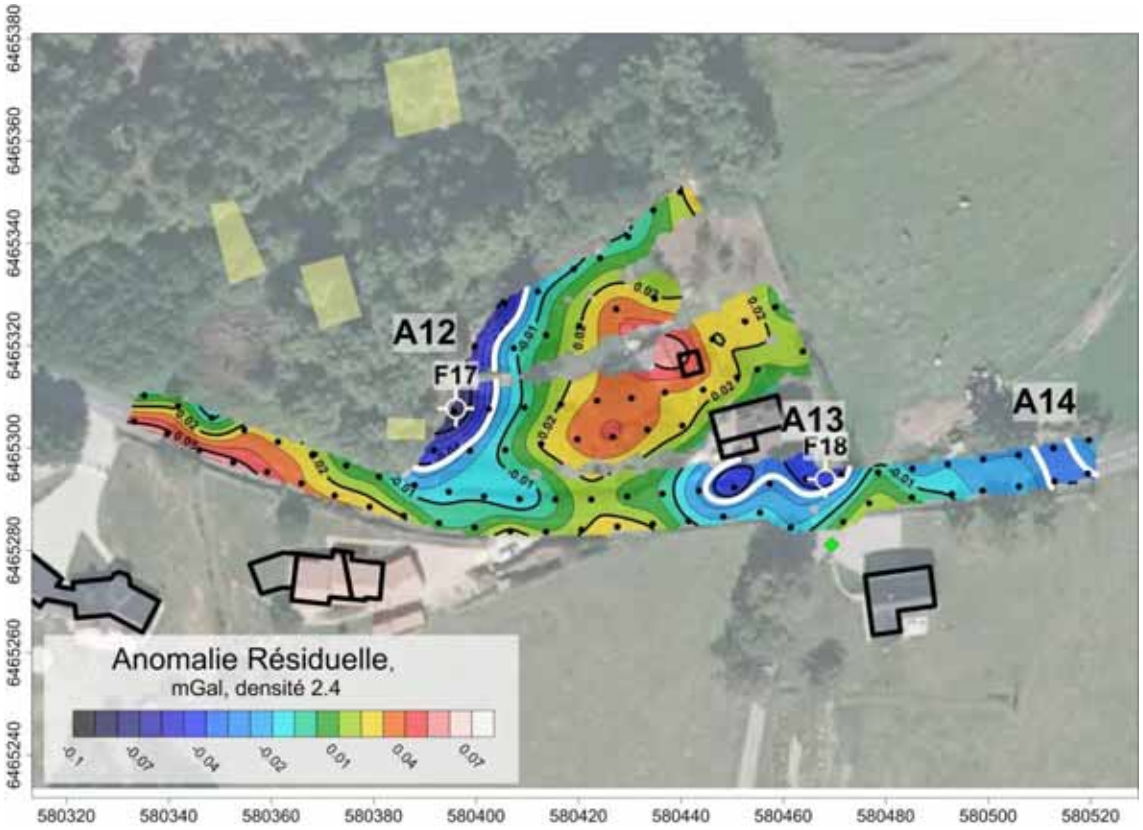


Illustration 34 : Anomalie résiduelle (mGal) pour la zone de la Chartroulle. L'iso contour blanc marque les anomalies significatives.

4. Recommandations et limites de la méthode

Les anomalies négatives décelées ne peuvent être interprétées de manière univoque, sans informations complémentaires fournies par d'autres méthodes géophysiques et/ou des données de sondages mécaniques.

Celles-ci peuvent correspondre:

- à des variations latérales de densités au sein des terrains, liées à leur nature et à leur lithologie, à leur degré d'altération ou à leur degré de compaction
- à des cavités vides, ennoyées, ou partiellement remblayées
- à des variations d'épaisseur de remblais peu dense sur un substrat plus dense

Pour lever les ambiguïtés d'interprétation, il est préconisé d'effectuer des sondages de contrôle au sein des anomalies négatives décelées jusqu'à une profondeur de 50 m. Un total de 18 sondages est préconisé (Tableau 3). Les sondages sont positionnés sur les cartes d'anomalies résiduelles.

Sondage	XL93	YL93	Justification	Anomalie circonscrite ou non	Zone
F1	580083.4	6463438.5	anomalie A1	N	Z1/ZR1

F2	580115.8	6463372.2	anomalie A2	N	Z1/ZR1
F3	580138.0	6463325.4	anomalie A3	N	Z3
F4	580185.8	6463270.3	anomalie A3	N	Z3
F5	580191.6	6463279.2	anomalie A3	N	Z3
F6	580212.1	6463229.9	anomalie A4	O	Z3
F7	580234.6	6463206.5	anomalie A4	O	Z3
F8	580202.8	6463163.2	anomalie A5	N	Z3
F9	580166.9	6463174.1	anomalie A5	N	Z3
F10	580176.5	6463150.0	anomalie A5	N	Z3
F11	579910.6	6463303.3	anomalie A6	N	ZR2
F12	579936.7	6463251.1	anomalie A7	N	ZR2
F13	580019.6	6463180.2	anomalie A8	N	ZR2
F14	579820.6	6463745.9	anomalie A9	N	ZR3
F15	579838.0	6463724.5	anomalie A9	N	ZR3
F16	579051.5	6464858.7	anomalie A10	N	Le Saillant
F17	580396.1	6465307.7	anomalie A12	N	La Chartroulle
F18	580468.2	6465293.9	anomalie A13	N	La Chartroulle

Tableau 3 : Préconisations de sondages.

La méthode gravimétrique est efficace pour cartographier l'emprise des contrastes de densités du sous-sol que lorsque la couverture spatiale des mesures est homogène et permet de circonscrire l'anomalie. Pour bien positionner la source de l'anomalie décelée, il est important que l'apex de l'anomalie soit bien identifié. Une couverture sous forme de maillage régulier est ainsi recommandée, quand le terrain s'y prête.

En guise d'exemple, l'effet d'une cavité ennoyée dont le toit est à 15 m de profondeur, de 15 m de hauteur, et de 10 m x 20 m d'emprise est modélisé (Illustration 35). Une telle cavité peut être rencontrée dans la présente étude. Si l'on effectue des mesures de microgravimétrie selon un axe N-S représentant une route, centré sur l'abscisse x=10 m, on observera une anomalie < -0.040 mGal, à y=0 m. En implantant un forage à x =8 m et y= 0 m, on ne recoupera pas la cavité (Illustration 35).

Certaines zones de la présente étude, étant limitées à la voirie, ne présentent ainsi pas une couverture homogène permettant de bien localiser l'apex des anomalies décelées.

Ainsi, sur les zones de voirie, si les forages préconisés ne rencontrent pas de vide, cela n'exclue pas la présence de vides à quelques décimètres ou mètres de la voirie. De tels vides, s'ils venaient à subir un effondrement de voute, pourraient impacter la voirie.

Nous recommandons ainsi que des compléments d'acquisition soient effectués afin de bien circonscrire les anomalies décelées, notamment sur les zones d'acquisition sur voirie seule.

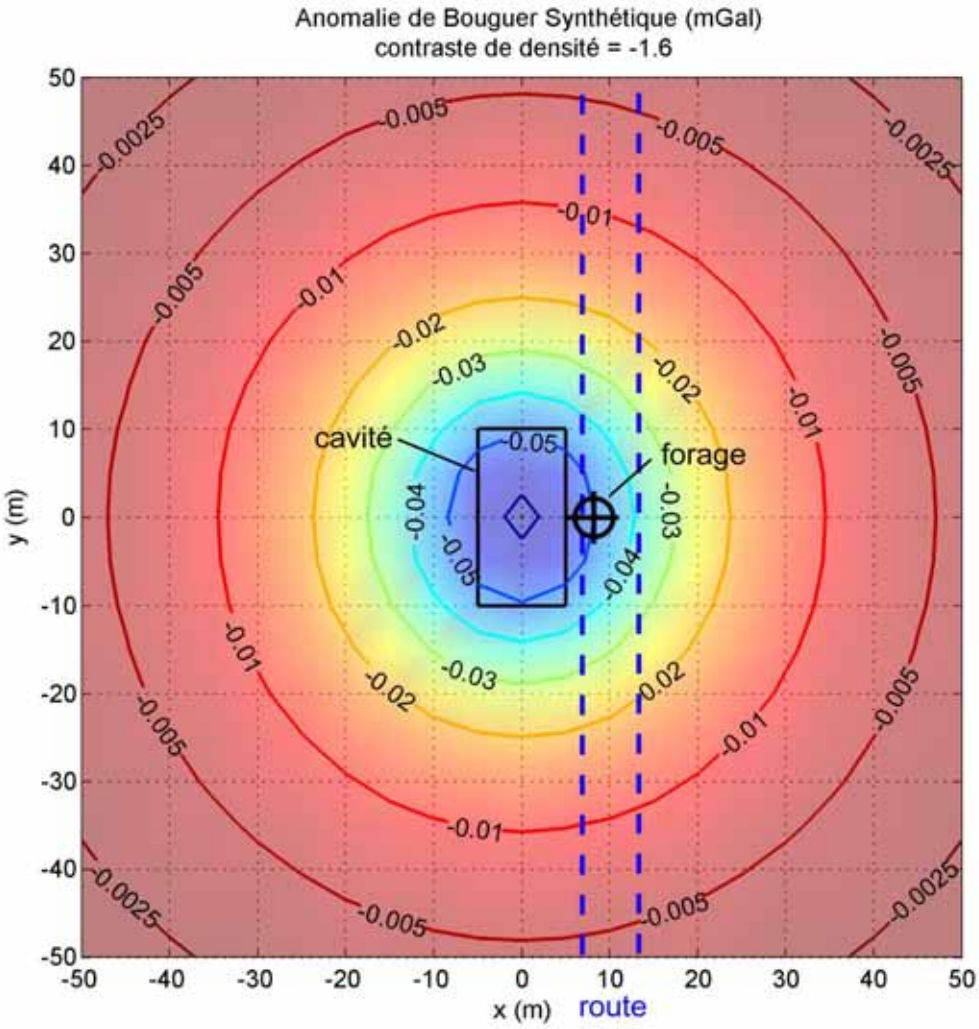


Illustration 35 : Anomalie synthétique (mGal) générée par une cavité ennoyée dont le toit est à 15 m de profondeur, de 15 m de hauteur, de 10 m x 20m d'emprise (traits noirs). Les traits bleus en tiret marquent la position d'une route, la croix noire la position d'un sondage préconisé.

5. Conclusion

Une investigation géophysique basée sur un levé gravimétrique comprenant 635 stations selon 7 zones a été effectuée sur la sur la commune d'Allassac.

Les anomalies gravimétriques négatives décelées peuvent correspondre :

- à des variations latérales de densités au sein des terrains, liées à leur lithologie, à leur degré d'altération ou à leur degré de compaction
- à des cavités vides, ennoyées, ou partiellement remblayées
- à des variations d'épaisseur de remblais peu dense sur un substrat plus dense

Pour lever les ambiguïtés d'interprétation, 18 sondages de contrôle au sein des anomalies négatives décelées sont préconisés, jusqu'à une profondeur de 50 m.

Nous recommandons que des compléments d'acquisition soient effectués afin de bien circonscrire les anomalies décelées, notamment sur les zones d'acquisition sur voirie seule.

Géosciences pour une Terre durable
brgm
Centre scientifique et technique
Direction Risques et Prévention
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34

Annexe 2 : Réalisation des sondages de reconnaissance - Campagne 2014 et 2015

TERRITOIRE(S) D'EXIGENCE

fondasol

USSAC Tél. 05.55.24.09.01

BRGM

EB.15.0014 – Pièce n° 001 – 1ère Diffusion

ALLASSAC (24)

Recherche de cavités anthropiques

Investigations Géotechniques

Suivi des modifications et mise à jour

FTQ 261-A

Rév.	Date	Nbr pages	Modifications	Rédacteur Nom, Visa	Contrôleur Nom, Visa
	28/07/2015	42	1ère Diffusion	A.RIGAL	E.PETITJEAN
A					
B					
C					

REV / PAGE		A	B	C		REV / PAGE		A	B	C	
1	X					41	X				
2	X					42	X				
3	X					43					
4	X					44					
5	X					45					
6	X					46					
7	X					47					
8	X					48					
9	X					49					
10	X					50					
11	X					51					
12	X					52					
13	X					53					
14	X					54					
15	X					55					
16	X					56					
17	X					57					
18	X					58					
19	X					59					
20	X					60					
21	X					61					
22	X					62					
23	X					63					
24	X					64					
25	X					65					
26	X					66					
27	X					67					
28	X					68					
29	X					69					
30	X					70					
31	X					71					
32	X					72					
33	X					73					
34	X					74					
35	X					75					
36	X					76					
37	X					77					
38	X					78					
39	X					79					
40	X					80					

Sommaire

Présentation de notre mission ____ 4

1 – Mission selon la norme NF P 94-500 ____ 4

Compte rendu ____ 5

A la demande du BRGM Limousin, nous avons effectué plusieurs sondages destructifs dans le but de confirmer ou non la présence de cavités sur la commune d'Allassac (19).

Cette prestation d'investigations géotechniques a été confiée à FONDASOL, Agence de Brive, suite à l'acceptation du devis DE.EB.14.07.009 indA du 16/02/2015 par la commande datée du 03/04/2015.

I – Mission selon la norme NF P 94-500

Il s'agit d'une mission **d'investigations géotechniques** au sens de la norme NF P 94-500 en référence à la « Classification des Missions Géotechniques Types » révisée en Novembre 2013.

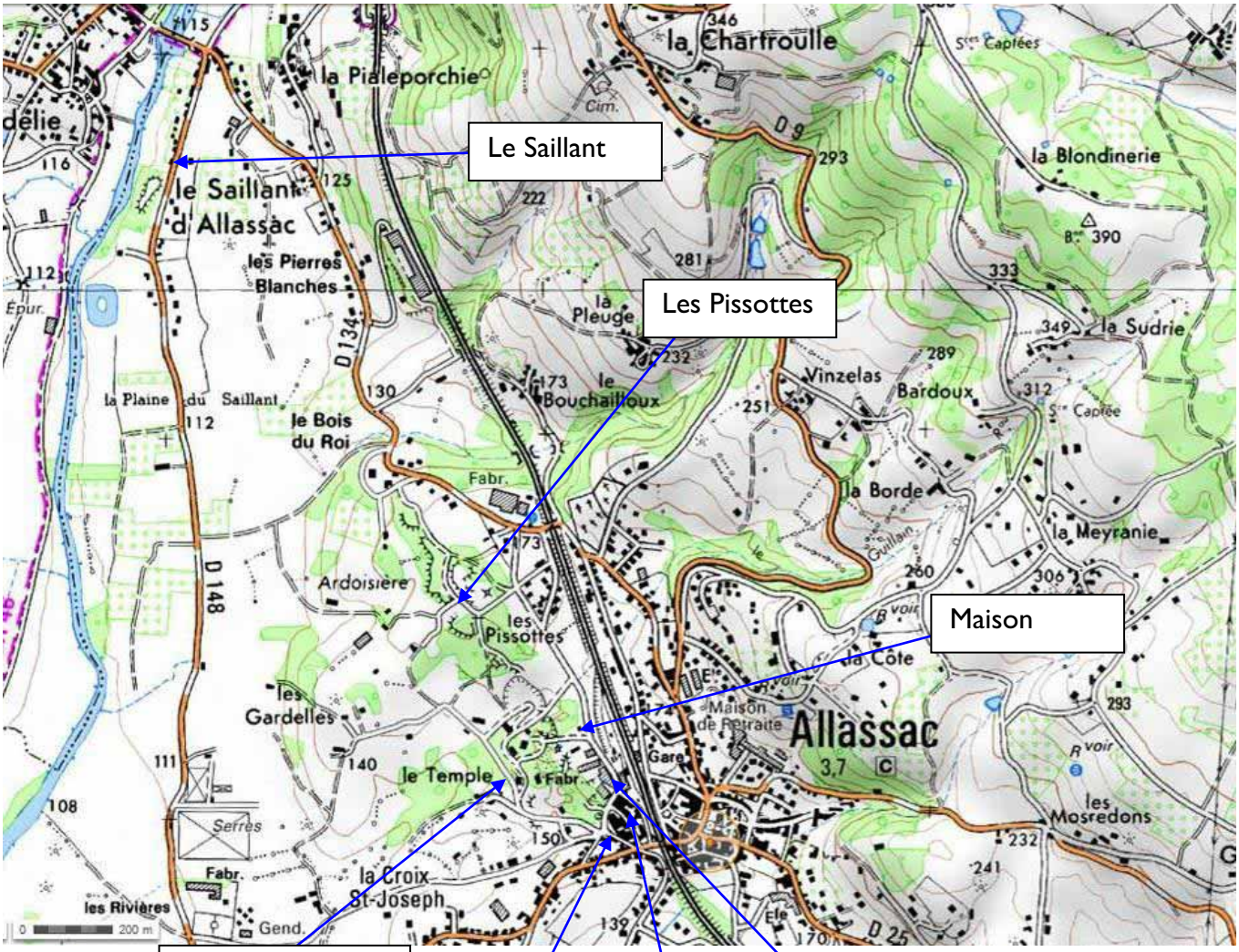
L'objectif de notre compte rendu est de développer les points suivants :

- Présentation du contexte géologique reconnu lors des investigations,
- Présentation des coupes de sondages.

L'implantation des points de sondages a été définie par le BRGM, suite aux résultats géophysiques.

La campagne d'investigations géotechniques fait suite à une campagne d'investigations géophysiques, réalisées par le BRGM, dans le cadre de l'évaluation préliminaire de la stabilité des chambres d'exploitations des ardoisières d'Allassac.

Quinze sondages ont été réalisés. Leur implantation a été définie par le BRGM, suite aux résultats géophysiques, dans les secteurs ci-dessous :



Plan d'implantation des sondages, source BRGM

Plan d'implantation du sondage au Saillant

- Les Pissottes : sondages S1, S1' et S2, réalisés sur l'accotement de la voirie communale, poursuivis respectivement jusqu'à 53.7 m, 23.0 et 20.5 m.
Le sondage S1 n'a pas mis en évidence la présence de cavités.
Les sondages S2 et S2bis ont montré une cavité remblayée de limons contenant des éléments anthropiques (verres, éléments métalliques), entre 10.0 m et 15.2 m en S2 et entre 13.0 m et 19.0 m en S2bis. Ces cavités sont également sous nappe.

- La maison : sondage S3, d'une profondeur de 50.0 m, réalisé dans la parcelle cadastrale de la maison, parcelle n°366. Il a permis de constater l'absence de cavité sur toute la hauteur du sondage.

- Le bâtiment de Mr Rabadan: sondage S4, réalisé dans la parcelle cadastrale n° 324, sondage d'une profondeur de 18.8 m. Des limons compacts ont été identifiés en tête jusqu'à 6.40 m. Ils peuvent correspondre à des remblais. Une cavité a été recoupée à partir de 14.5 m, correspond au toit d'une cavité remblayée de limons mous, sous nappe.
Le sondage a été arrêté dans la cavité en raison de l'apparition de phénomène d'affaissement sur le puits situé à côté du sondage.

- Les bâtiments Municipaux et le bâtiment Lapeyre : sondages S5 à S8, parcelle cadastrale n°458.
Le sondage S5 indique la présence d'une cavité remblayée de limons, sous nappe, à partir de 11.8 m de profondeur et jusqu'à la profondeur d'arrêt du sondage soit 20.0 m (arrêt après accord de Mr GENNA ; BRGM).
Le sondage S6 (30.0 m de profondeur) montre également une cavité remblayée et en eau à partir de 13.8 m et jusqu'à la profondeur d'arrêt du sondage.
Le sondage S7, d'une profondeur de 30.0 m n'a pas identifié de cavité sur toute sa hauteur.
Le sondage S8 réalisé dans le bâtiment Lapeyre montre une cavité à partir de 7.0 m jusqu'à 15.0 m de profondeur, remblayée et contenant des débris d'origine anthropique : verre, ferrailles, vaisselle.
Les sondages S5, S6 et S7 ont été réalisés avec une inclinaison de 4° en raison de la présence de bâtiments.

- Le Minotier : sondages S9 (réalisée dans la parcelle cadastrale n°418) et S14, d'une profondeur de 40.0 m chacun. Aucune cavité n'a été reconnue sur la hauteur des sondages.

- Route du Temple : sondages S10, S10' et S11, effectués sur l'accotement de la voirie communale. Aucune cavité n'a été reconnue sur la hauteur des sondages ; soit 50.0 m pour S10 et S11 et 29.0 m pour S10bis.

- Le Saillant : sondage S12 effectué sur l'accotement de la route départementale RD148, d'une profondeur de 30.0 m. Ce sondage met en évidence la présence d'une cavité à partir de 24.30 m, sous une couverture constituée de sables et de graves sableuses, sur les schistes altérés puis sain. Cette cavité est en eau, mais n'a pas été remblayée.

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

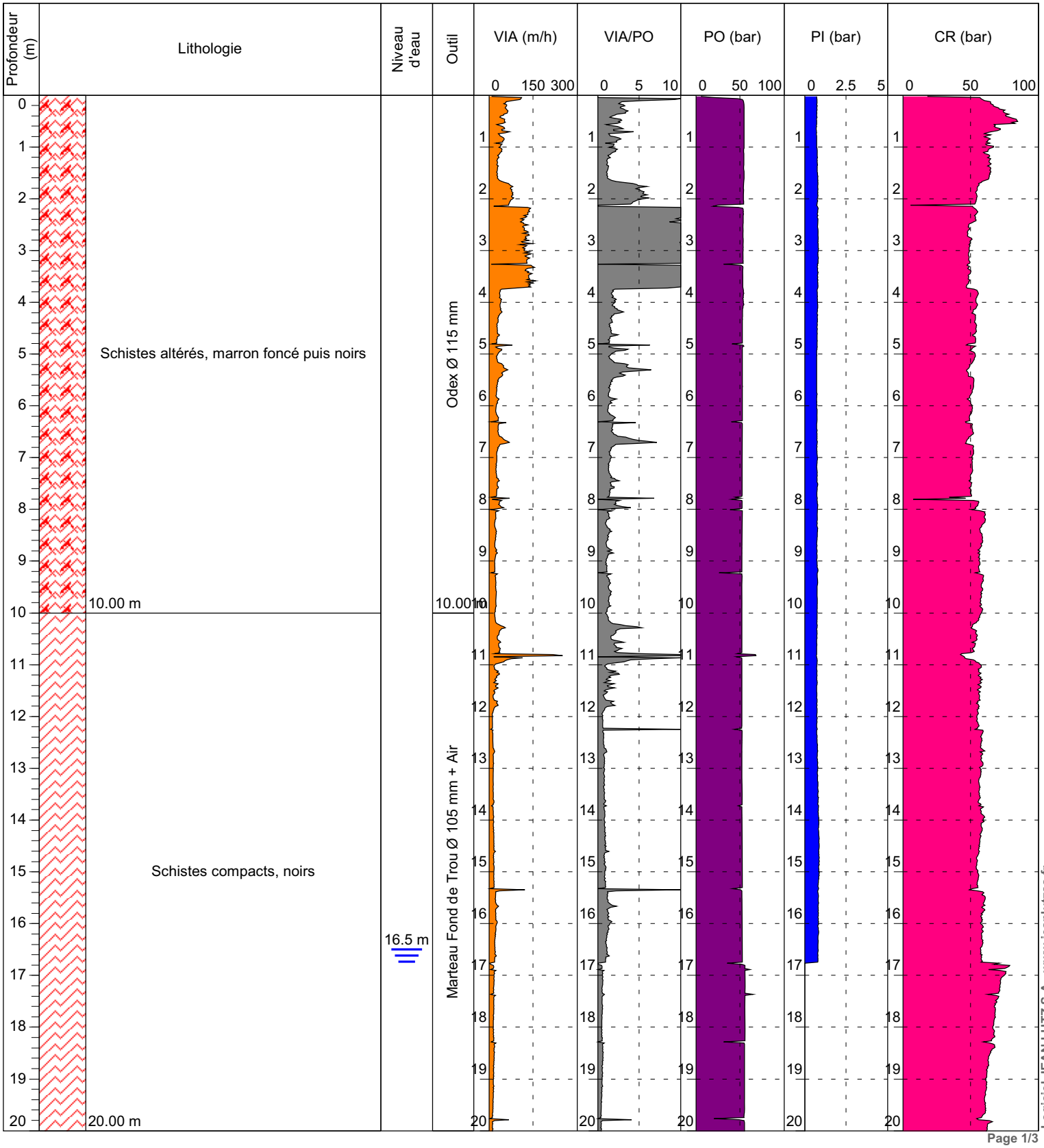
Date de début : **02/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 53.71 m**

Date fin : **08/06/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S1

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



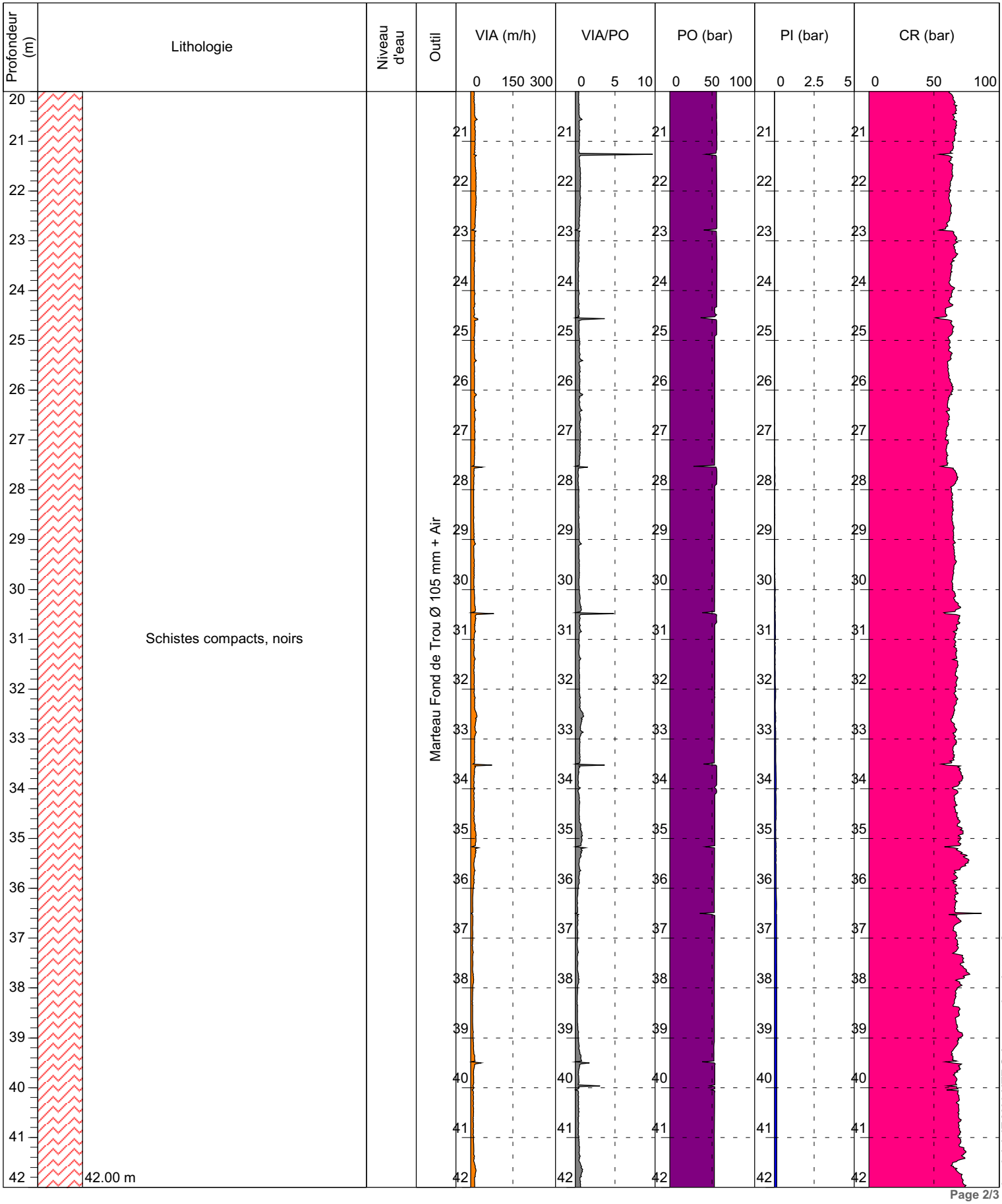
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/3

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S1



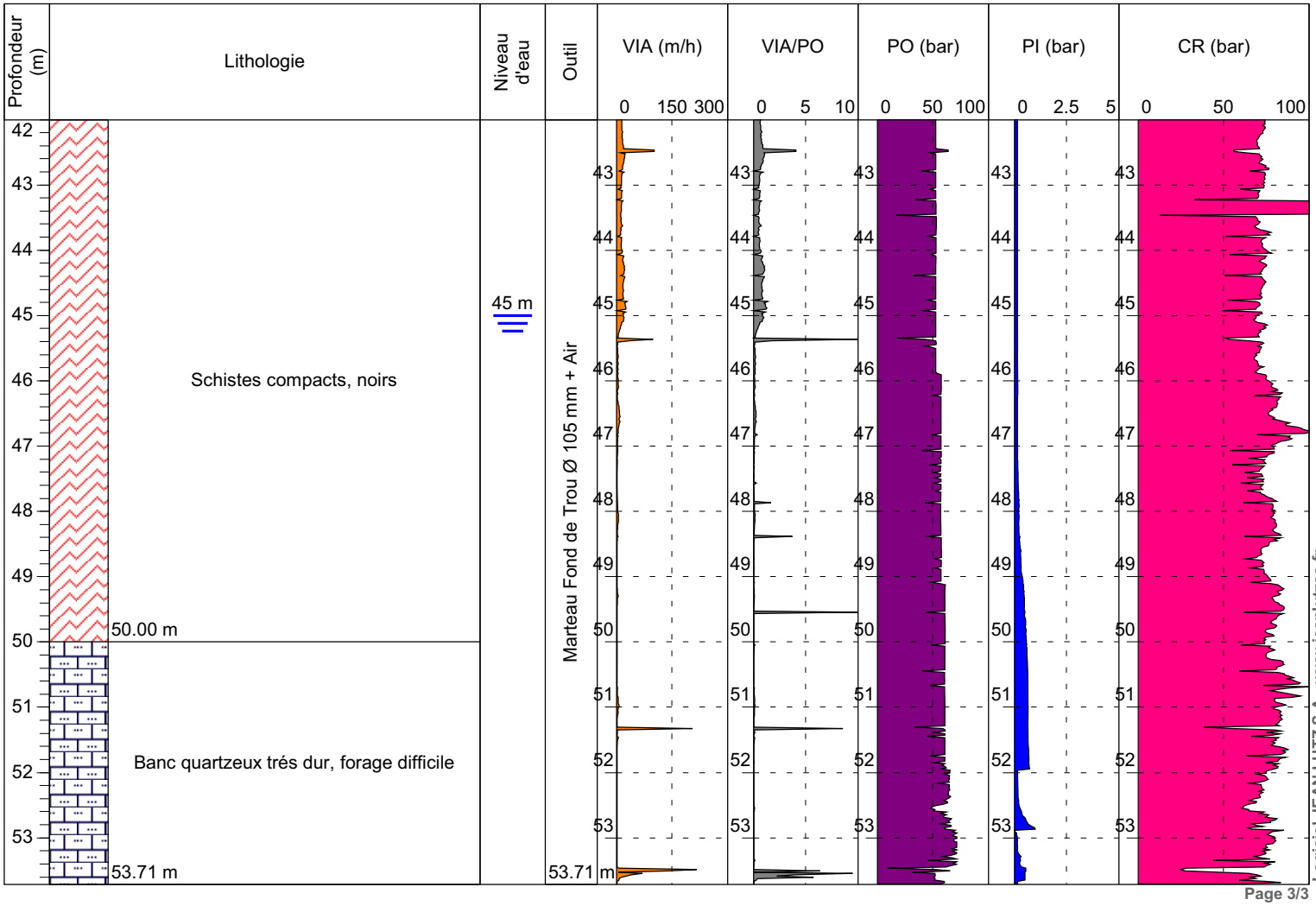
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 2/3

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S1



Page 3/3

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

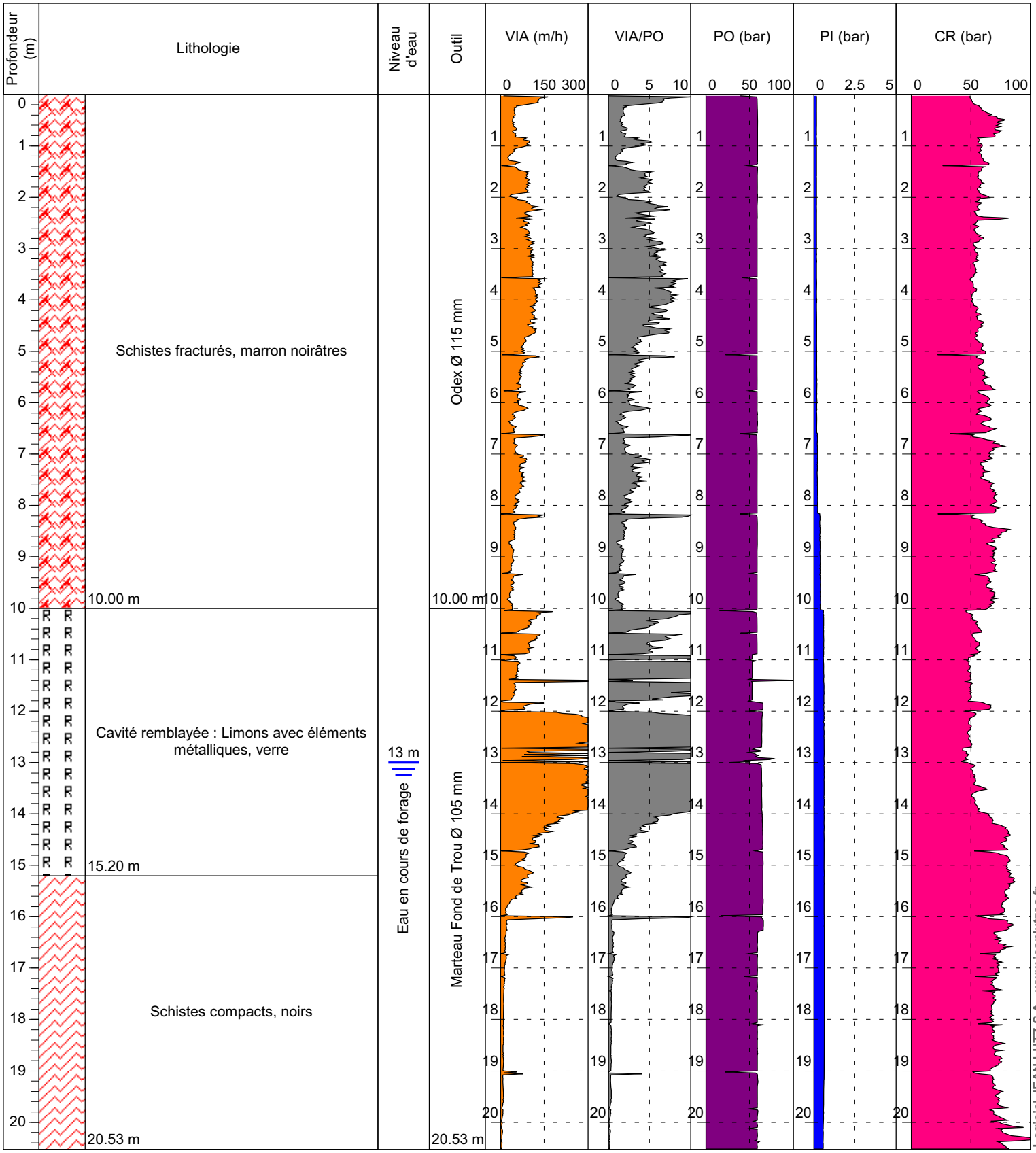
Date de début : **08/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 20.53 m**

Date fin : **09/06/2015** Angle : **Vertical**

1/100

Sondage : S2

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

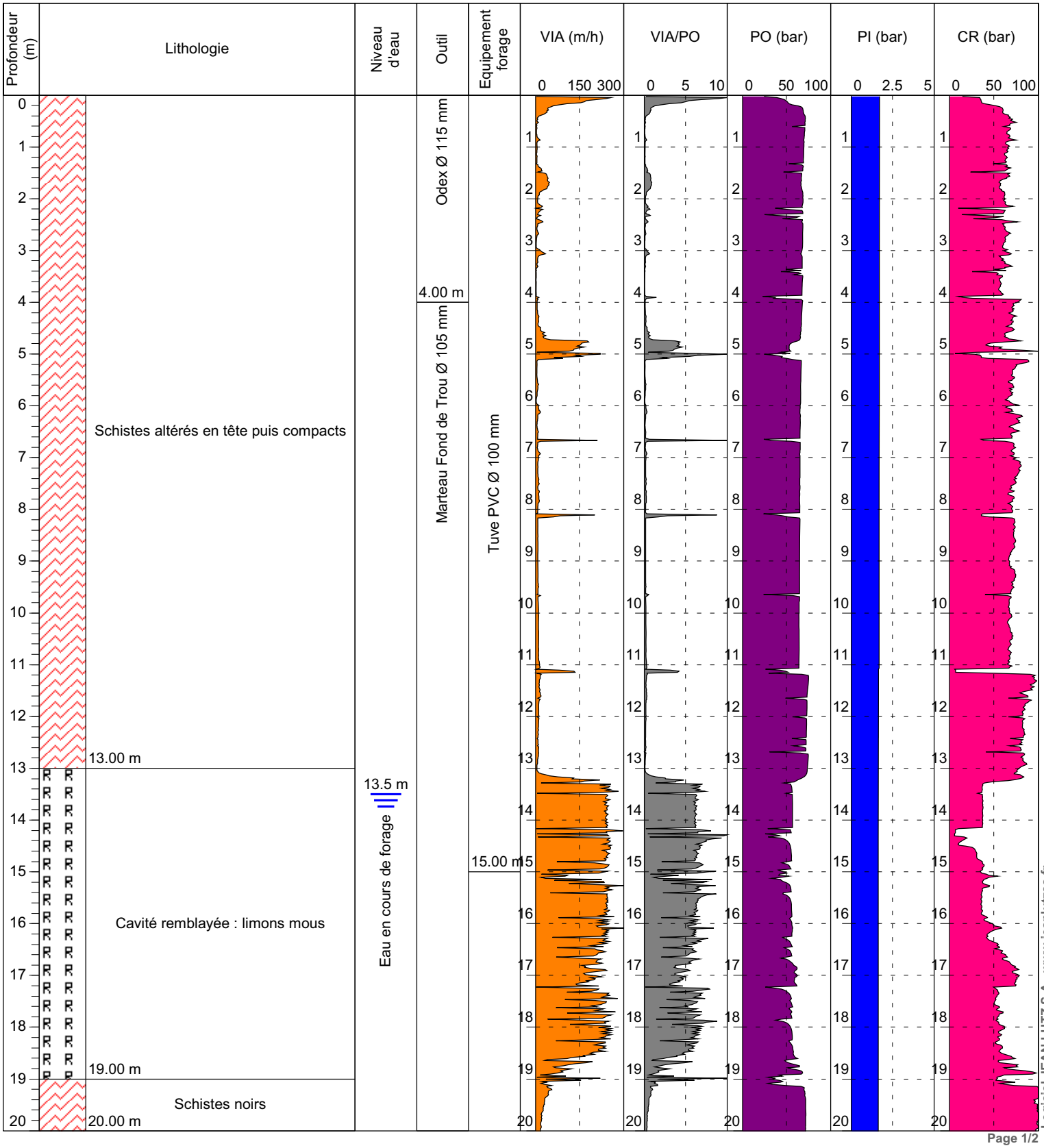
Date de début : **20/07/2015** Machine : **VD700** Profondeur : **0.00 - 23.01 m**

Date fin : **21/07/2015** Angle : **Vertical**

1/100

Sondage : S1'

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



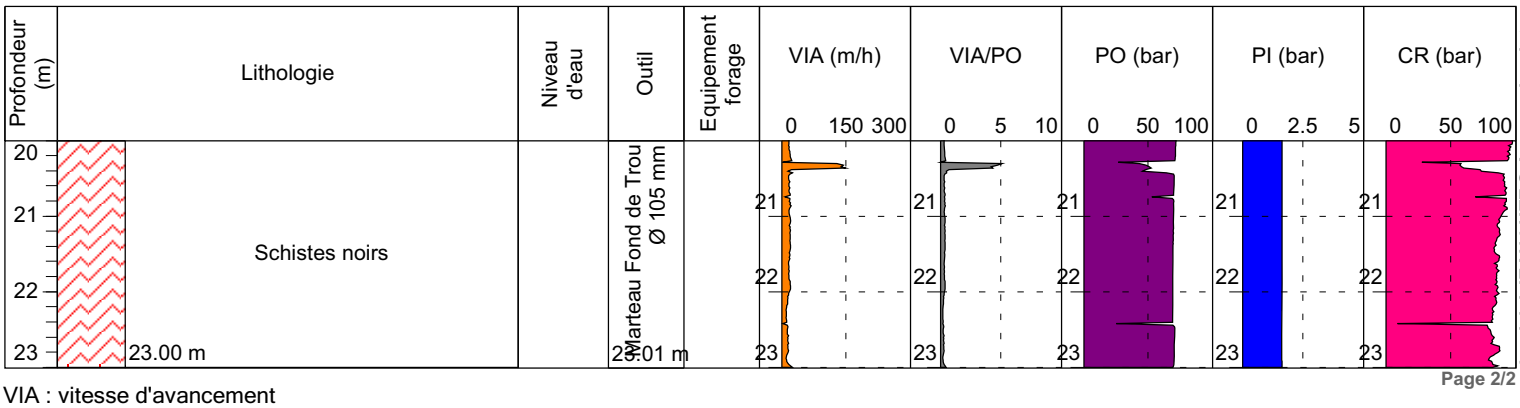
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/2

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S1'



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

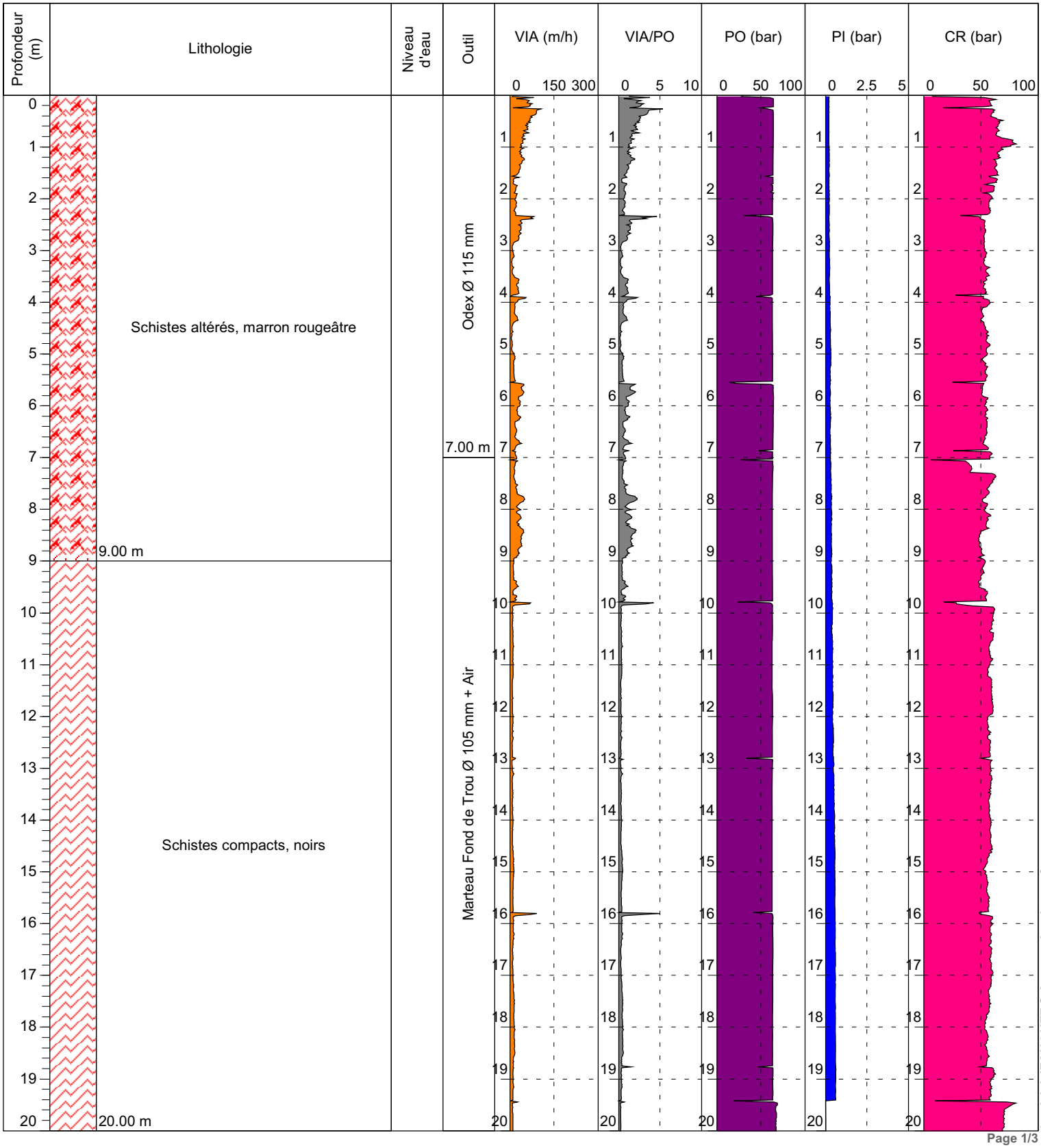
Date de début : **18/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 50.00 m**

Date fin : **19/06/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S3

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR

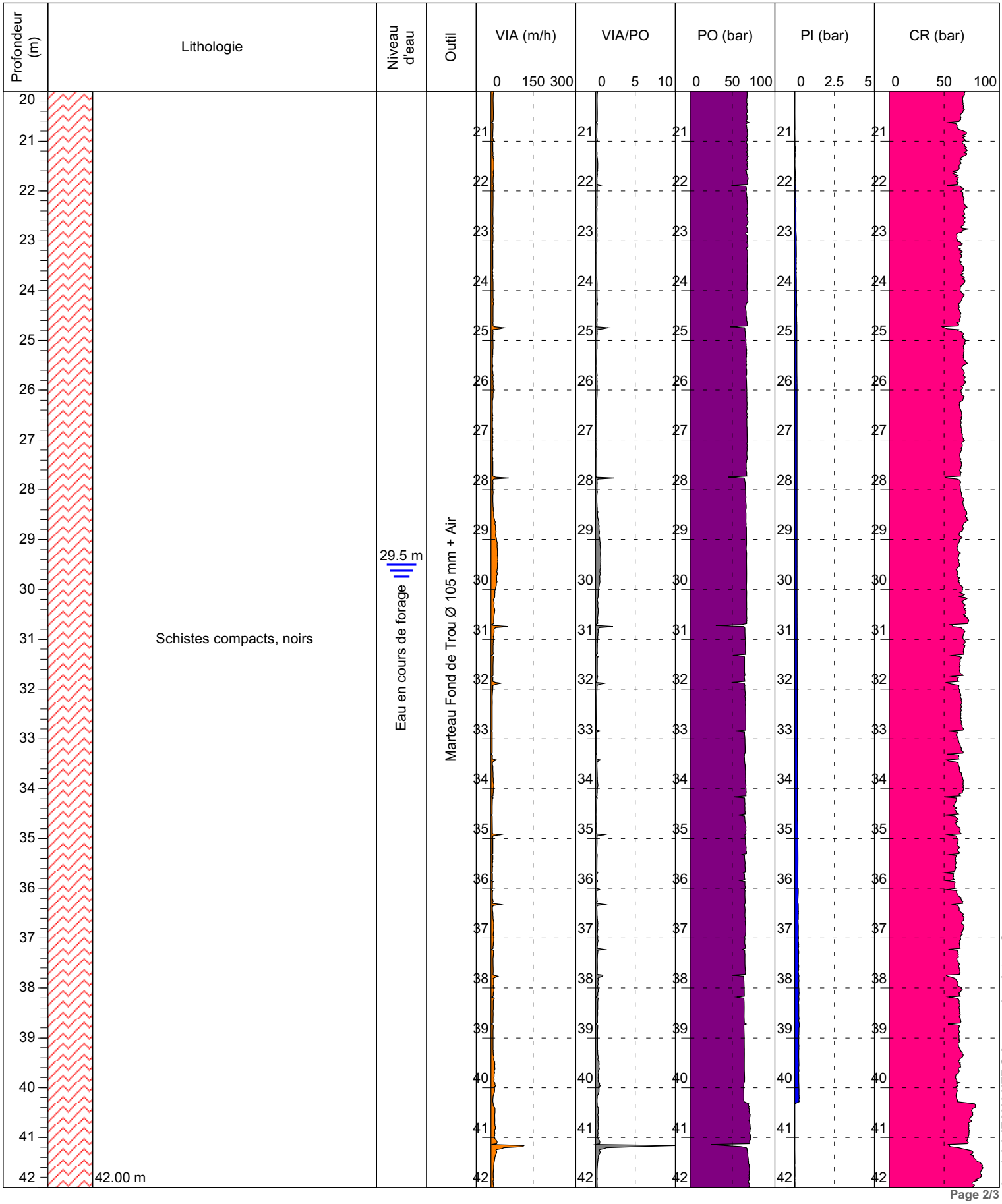


Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S3



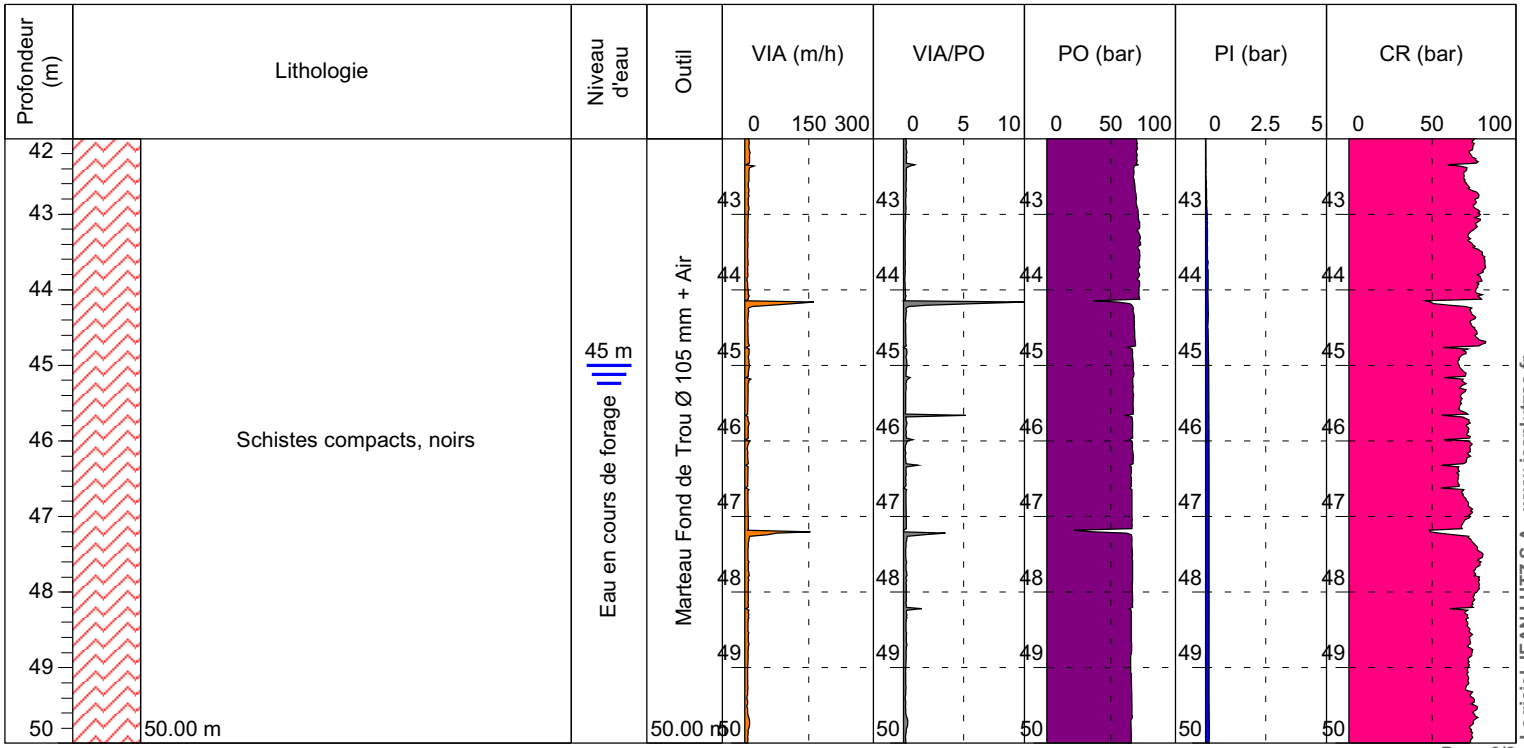
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 2/3

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S3



VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

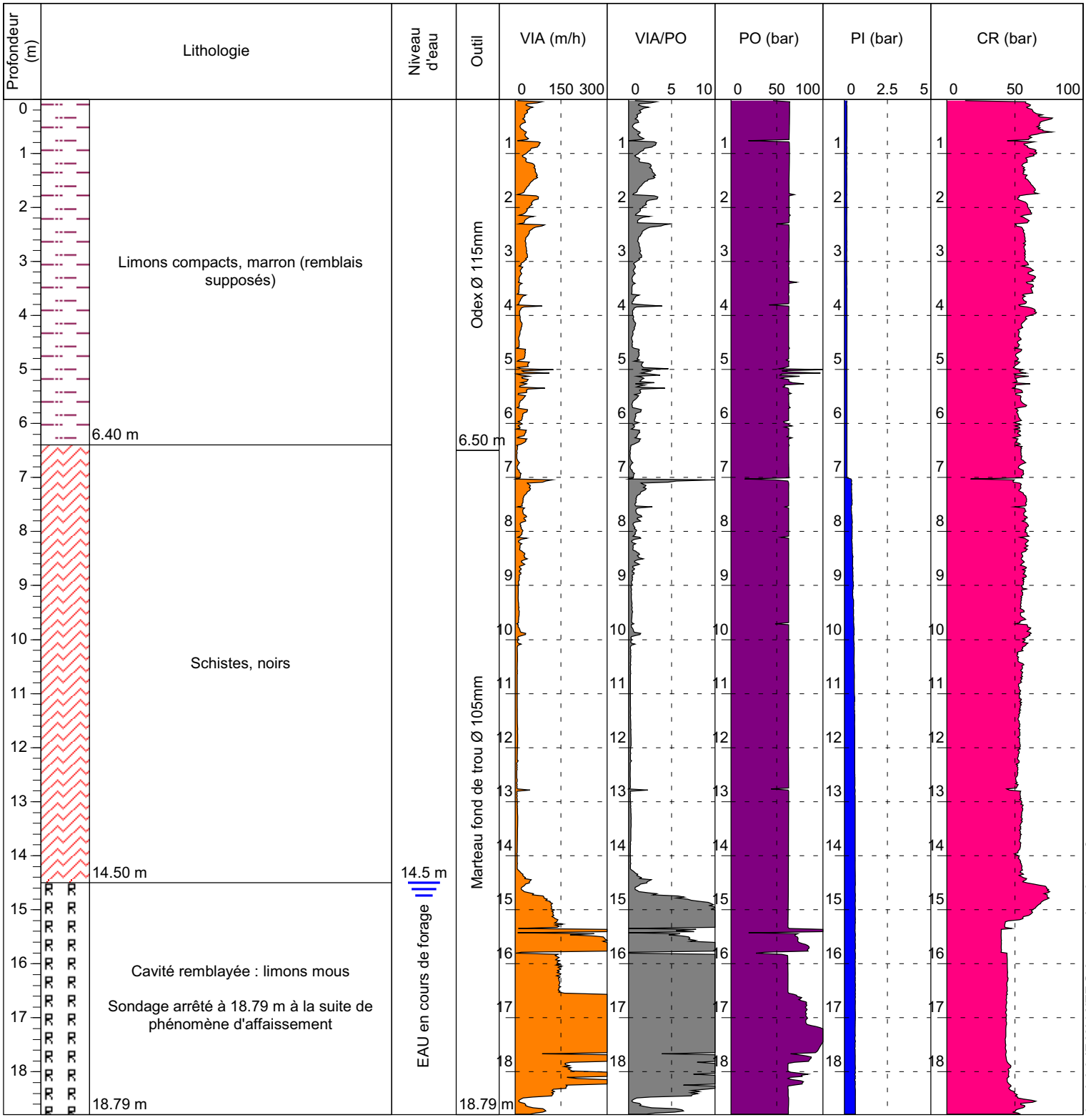
Date de début : **17/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 18.79 m**

Date fin : **17/06/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S4

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

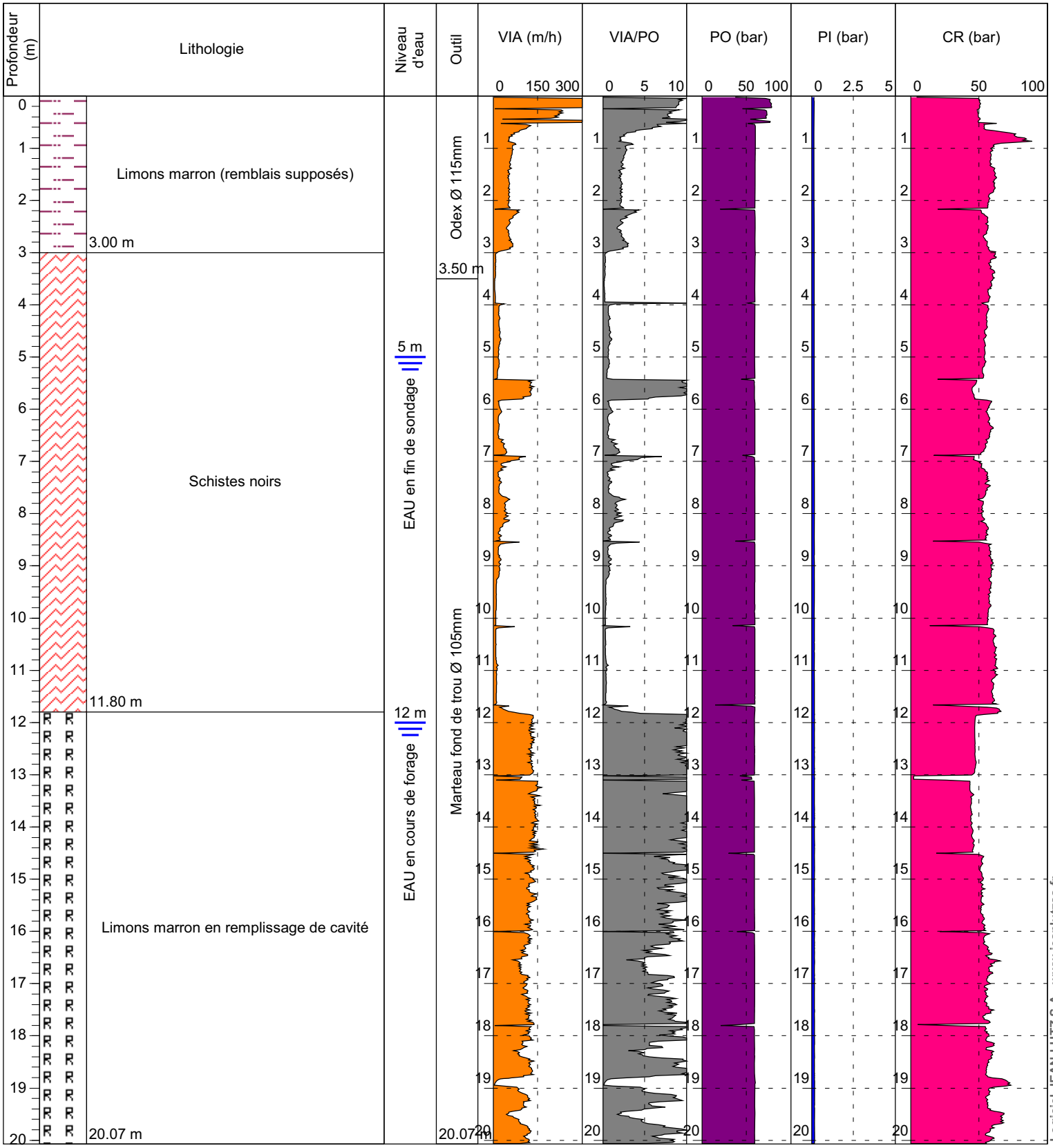
Date de début : **10/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 20.07 m**

Date fin : **10/06/2015** Angle : **4°**

1/100

Sondage : S5

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

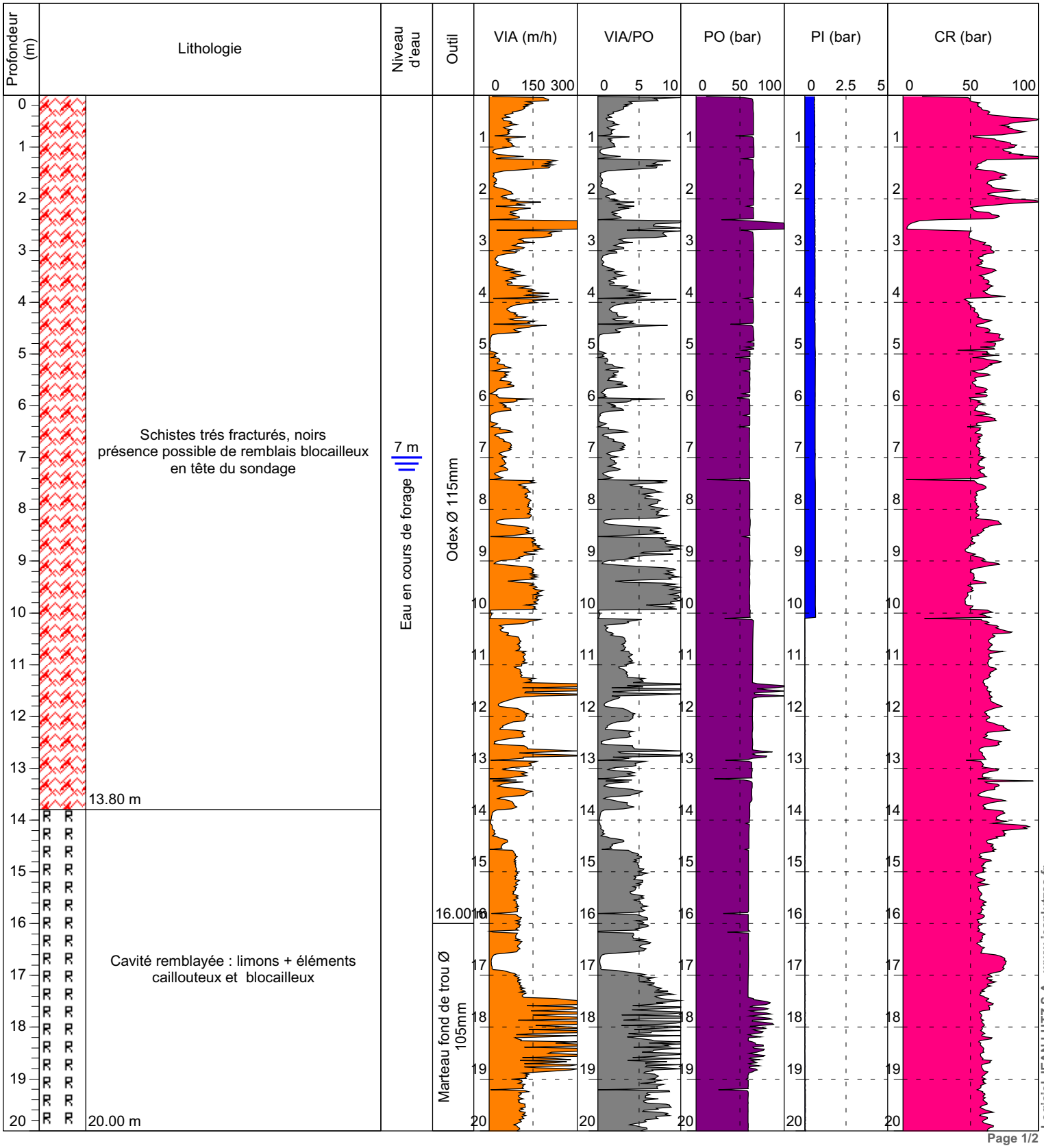
Date de début : **09/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 30.00 m**

Date fin : **09/06/2015** Angle : **4°**

1/100

Sondage : S6

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



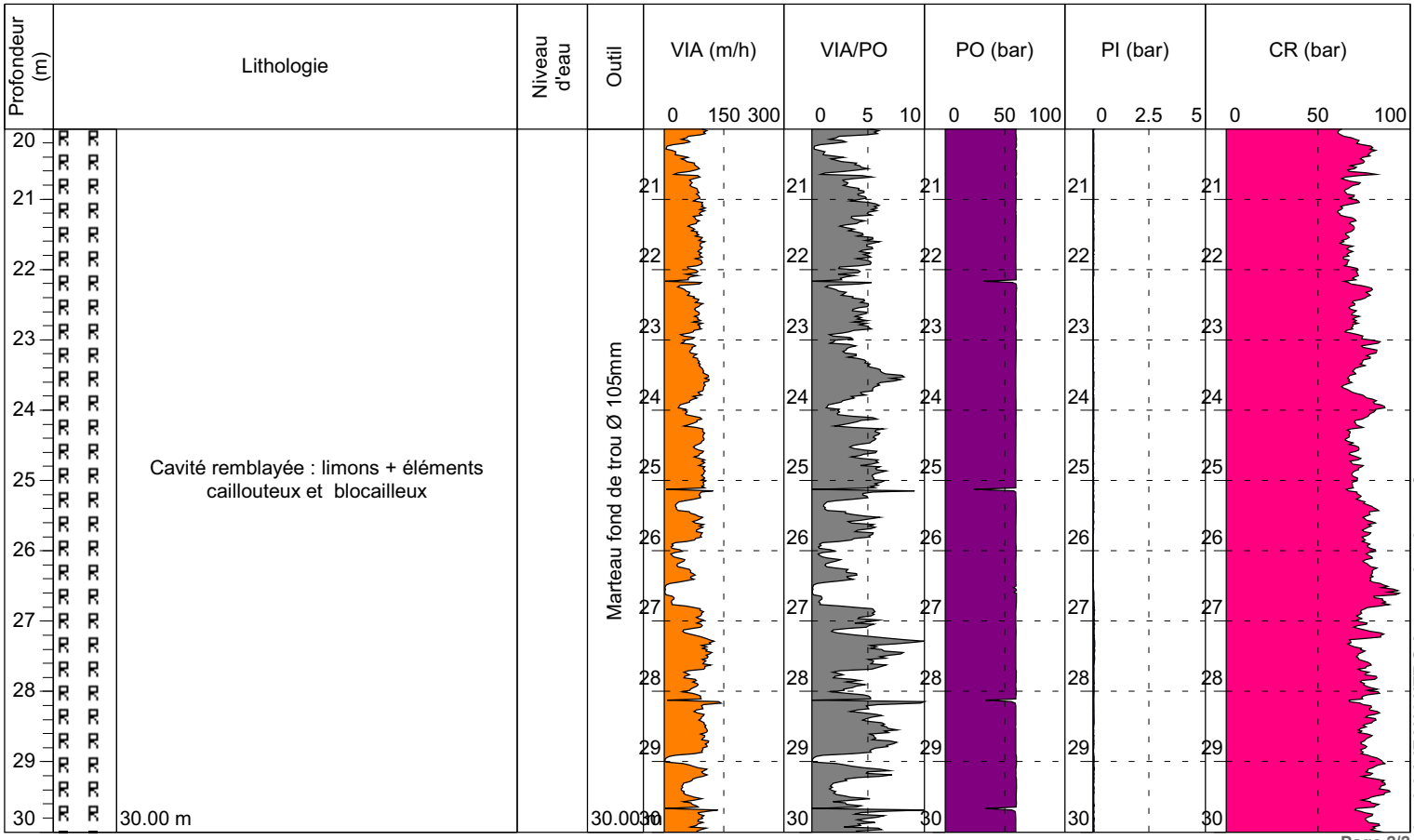
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/2

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S6



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 2/2

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

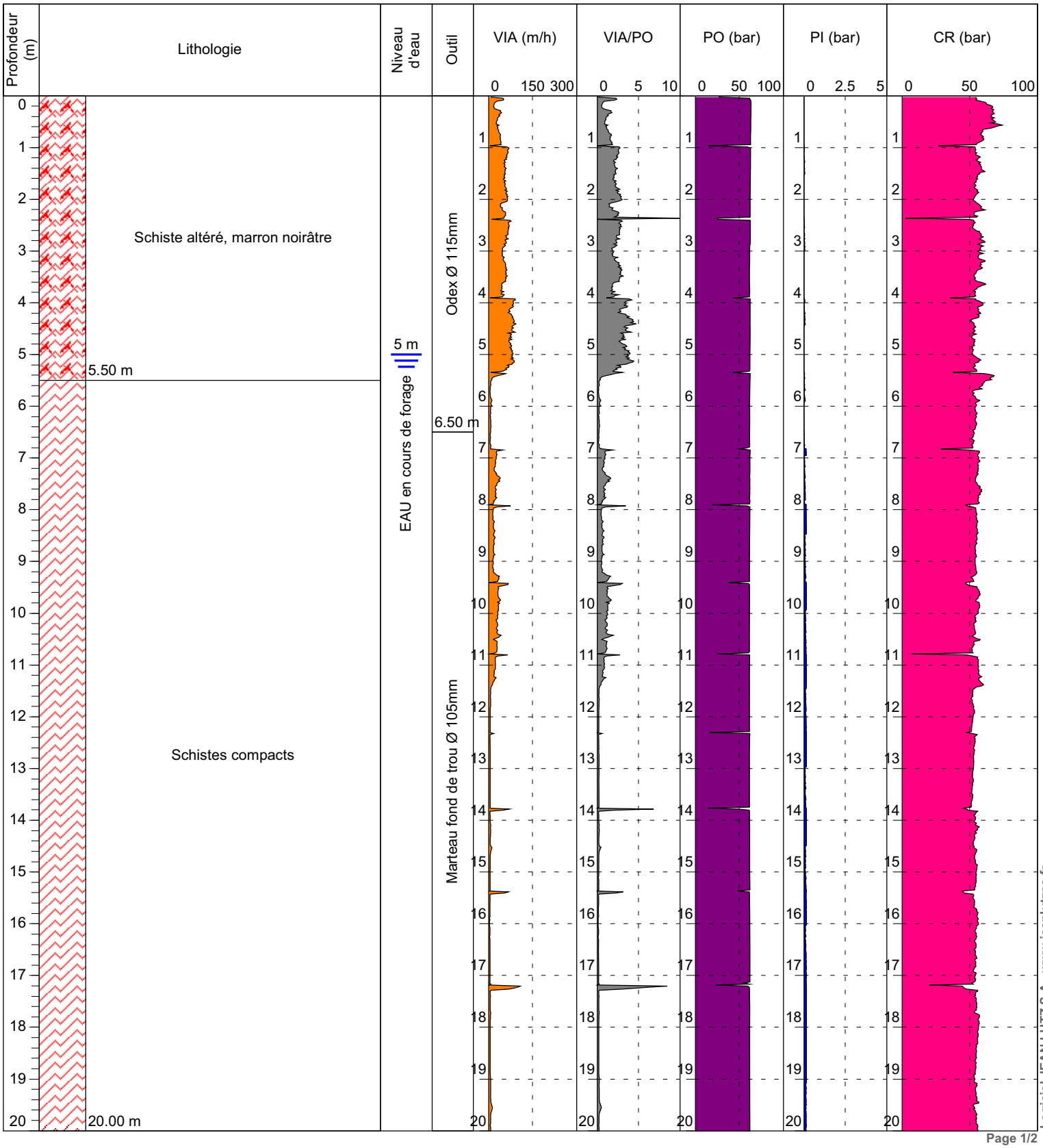
Date de début : **15/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 30.24 m**

Date fin : **15/06/2015** Angle : **4°**

1/100

Sondage : S7

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



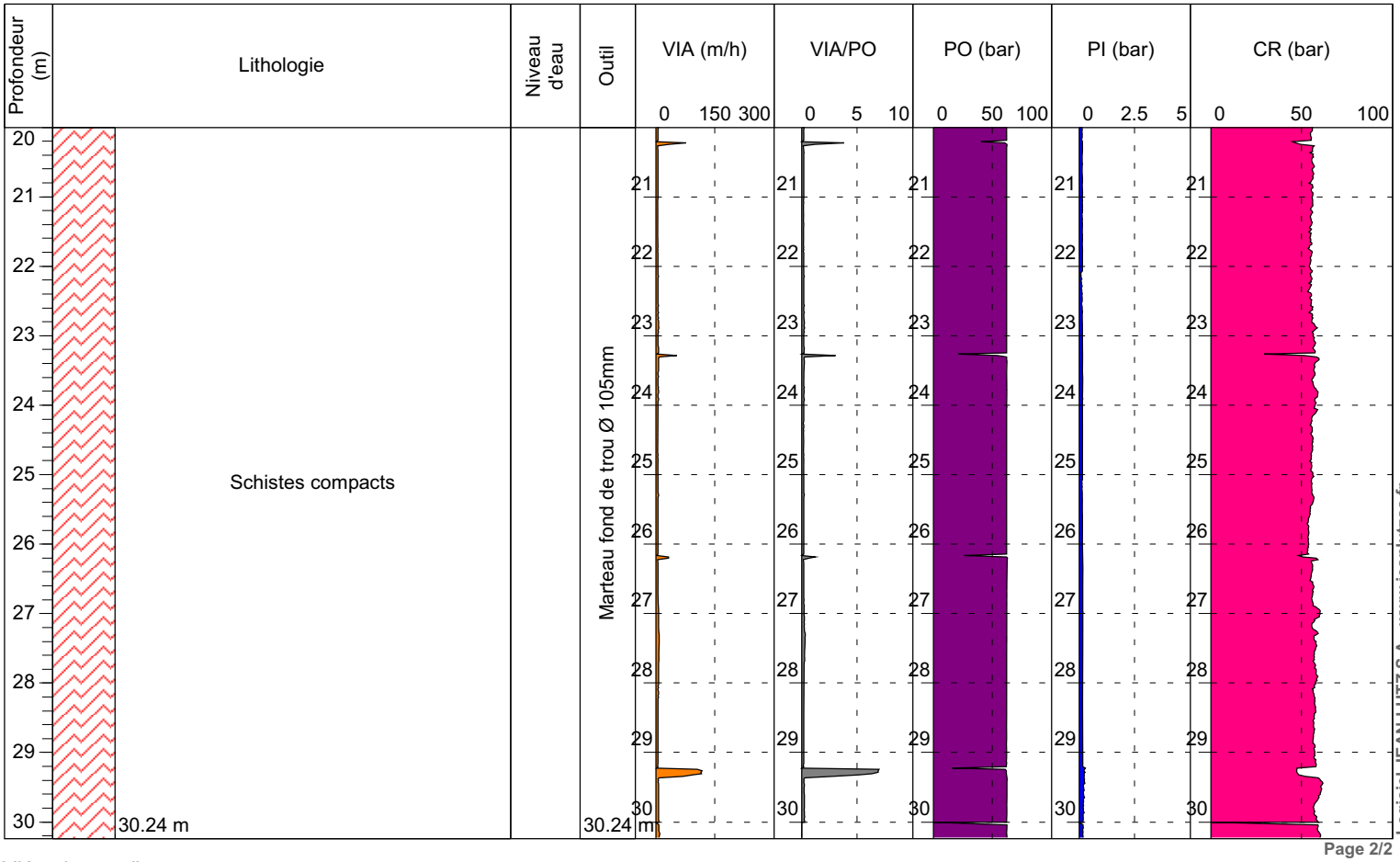
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/2

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S7



Page 2/2

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

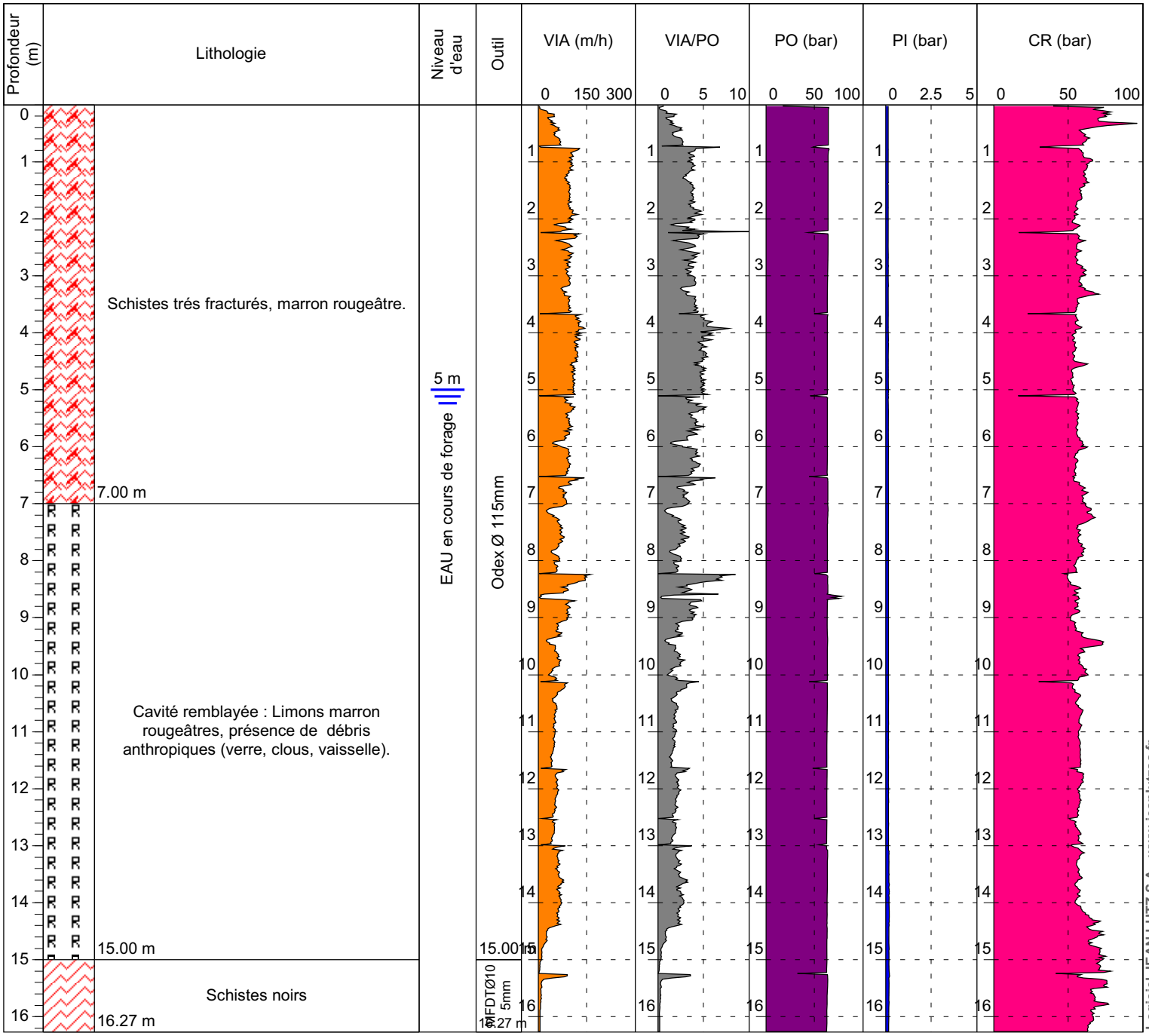
Date de début : **16/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 16.27 m**

Date fin : **16/06/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S8

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

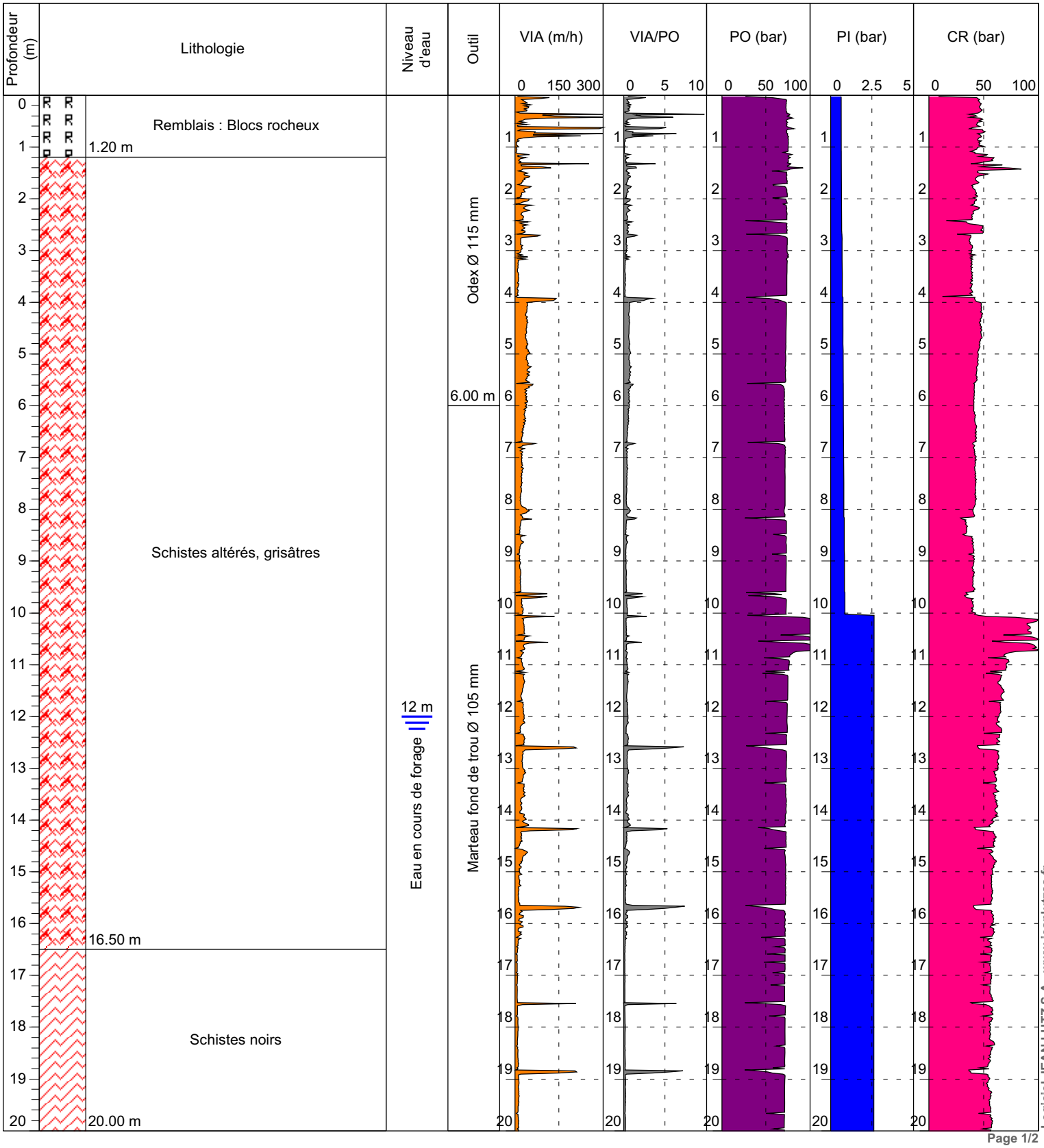
Date de début : **08/07/2015** Machine : **VD700** Profondeur : **0.00 - 40.00 m**

Date fin : **15/07/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S9

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



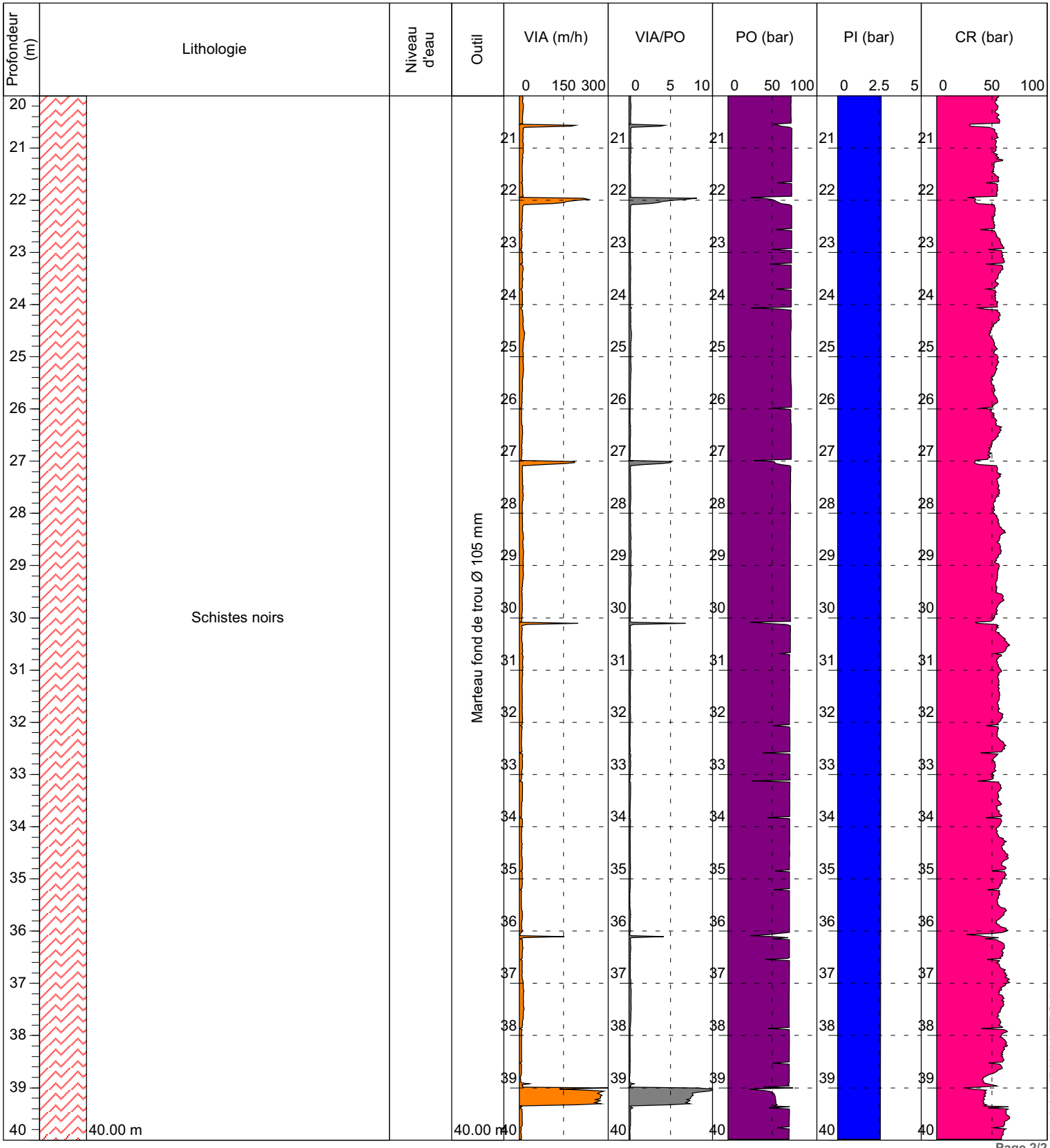
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/2

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S9



Page 2/2

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

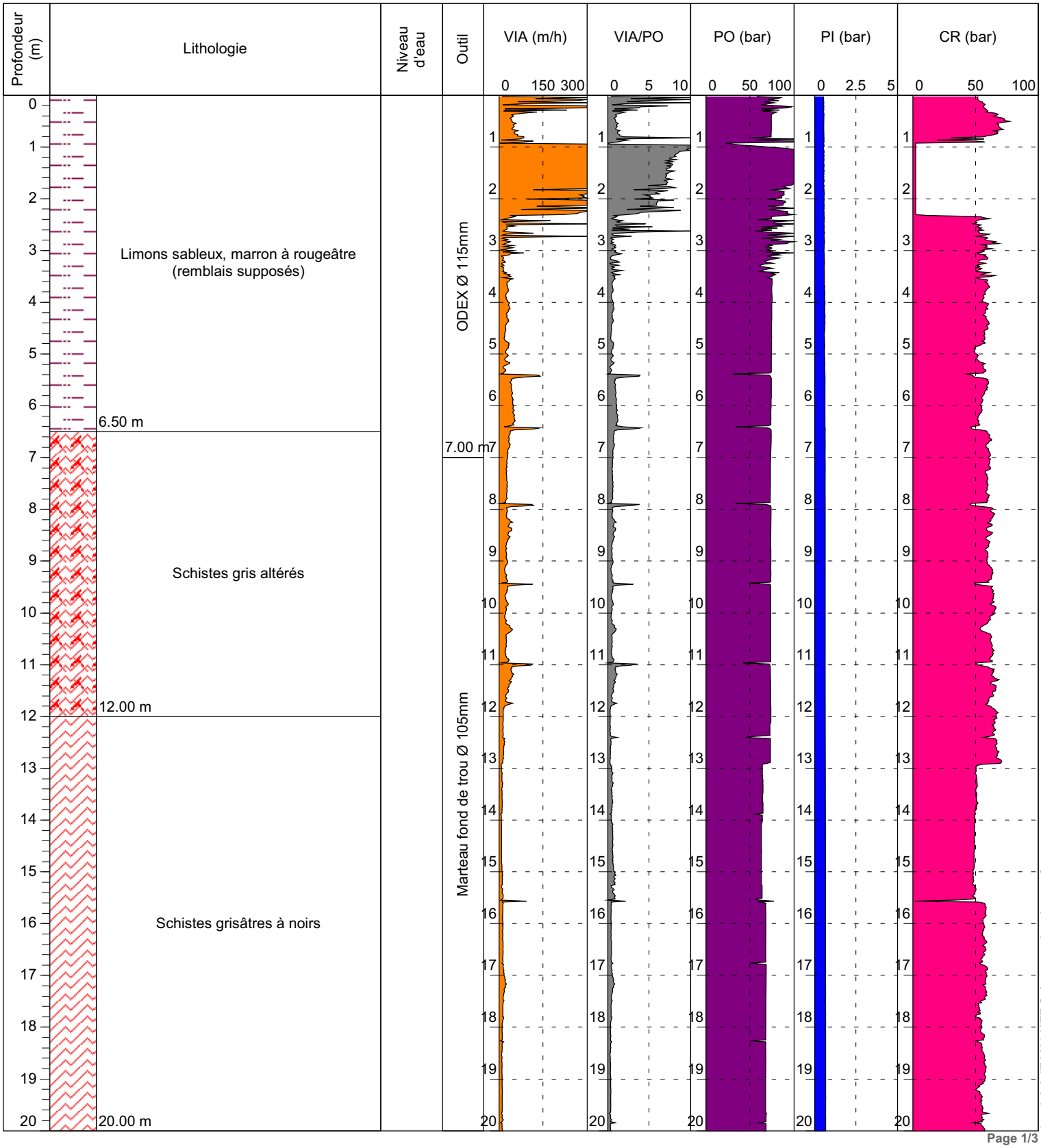
Date de début : **26/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 50.00 m**

Date fin : **27/06/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S10

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



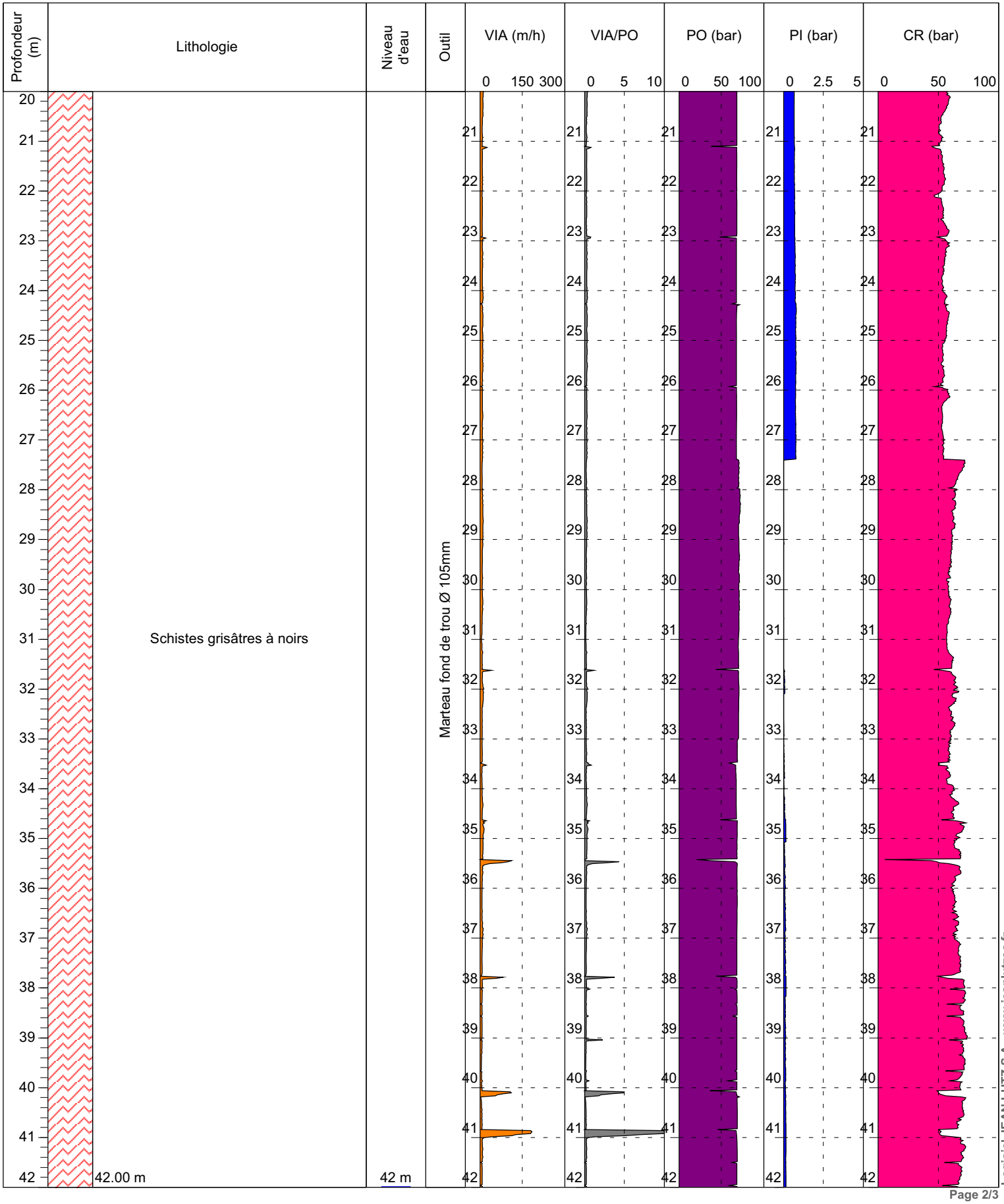
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/3

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S10



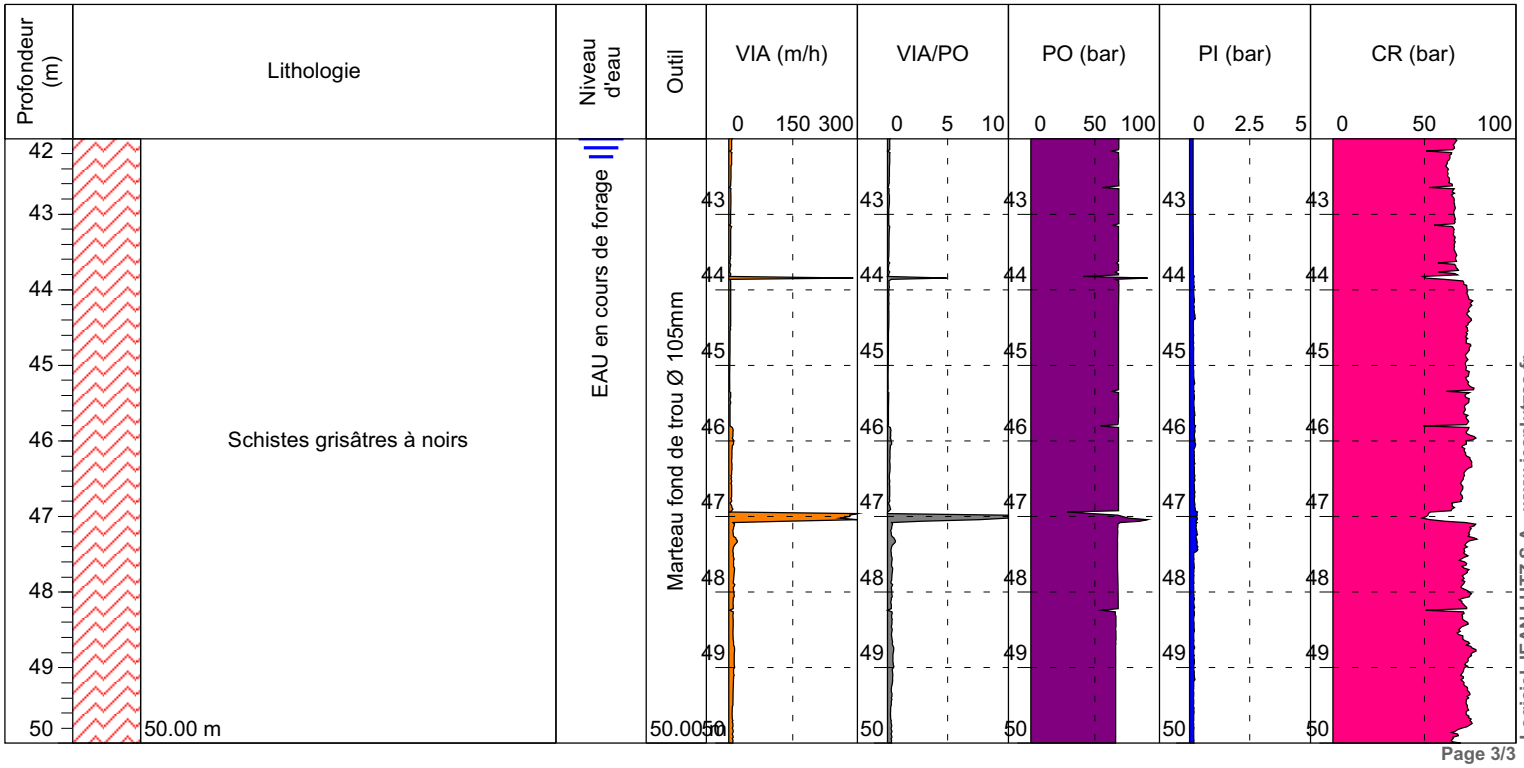
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 2/3

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S10



Page 3/3

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

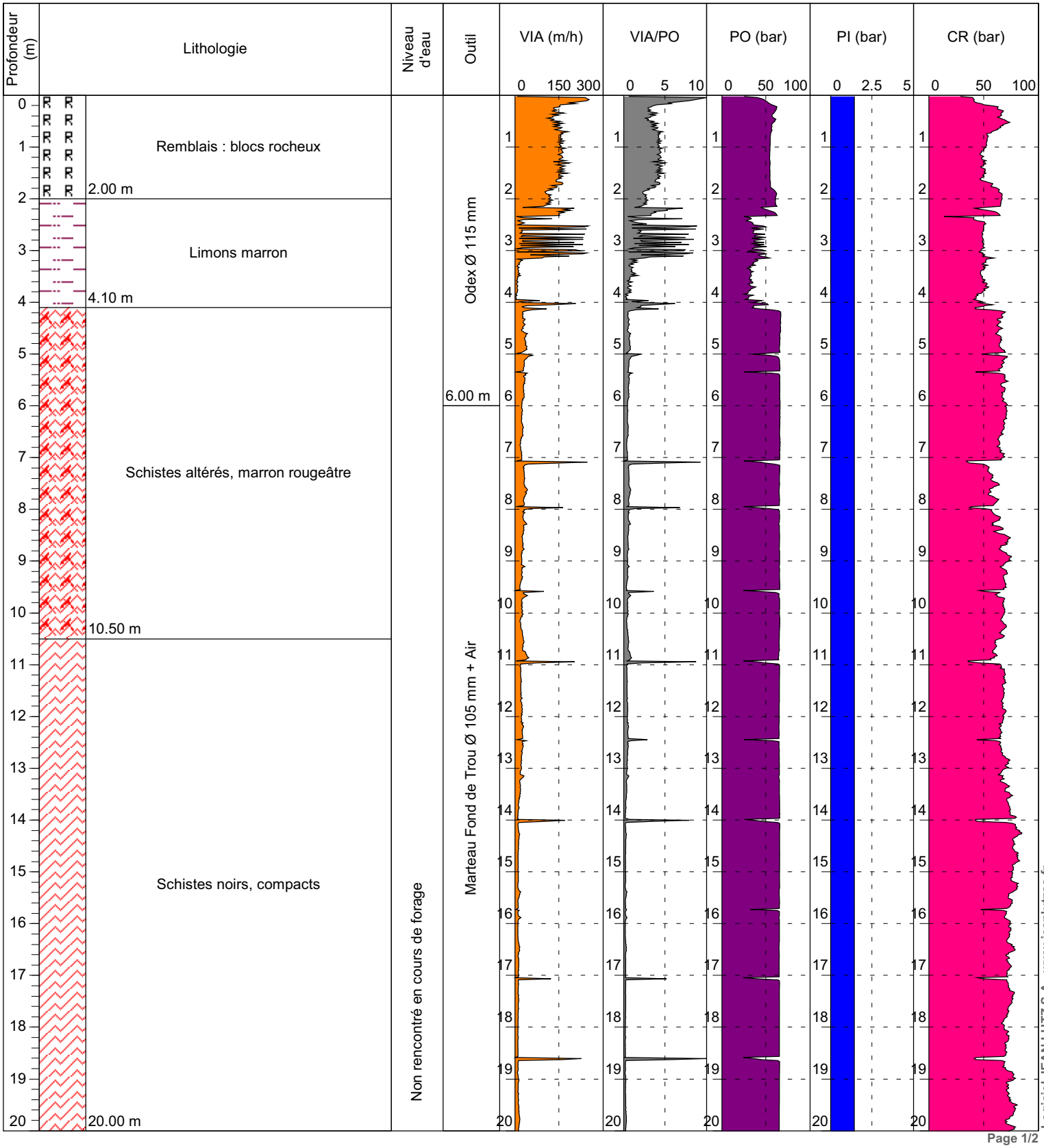
Date de début : **22/07/2015** Machine : **VD700** Profondeur : **0.00 - 29.36 m**

Date fin : **22/07/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S10'

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR

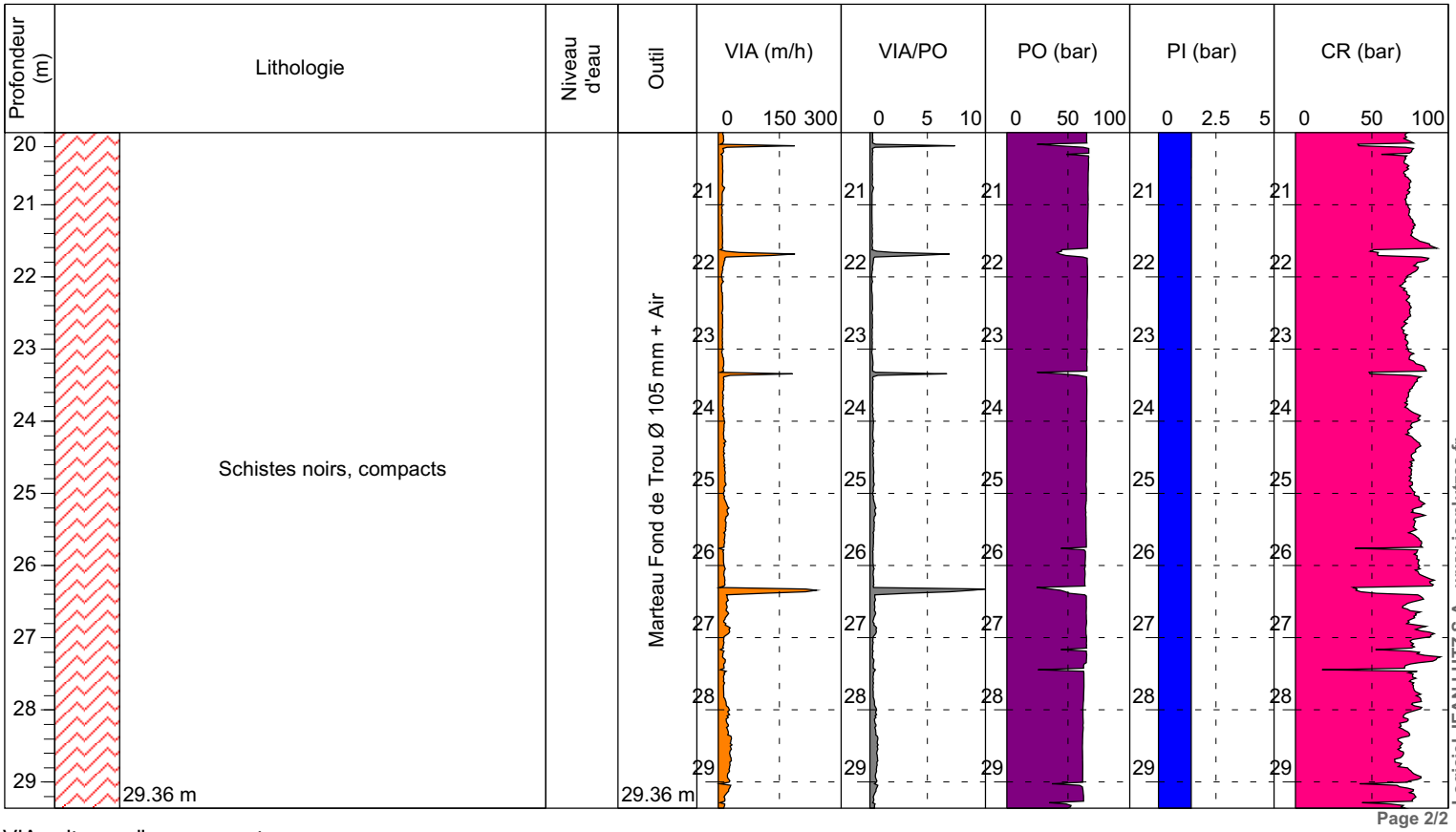


Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S10'



Page 2/2

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

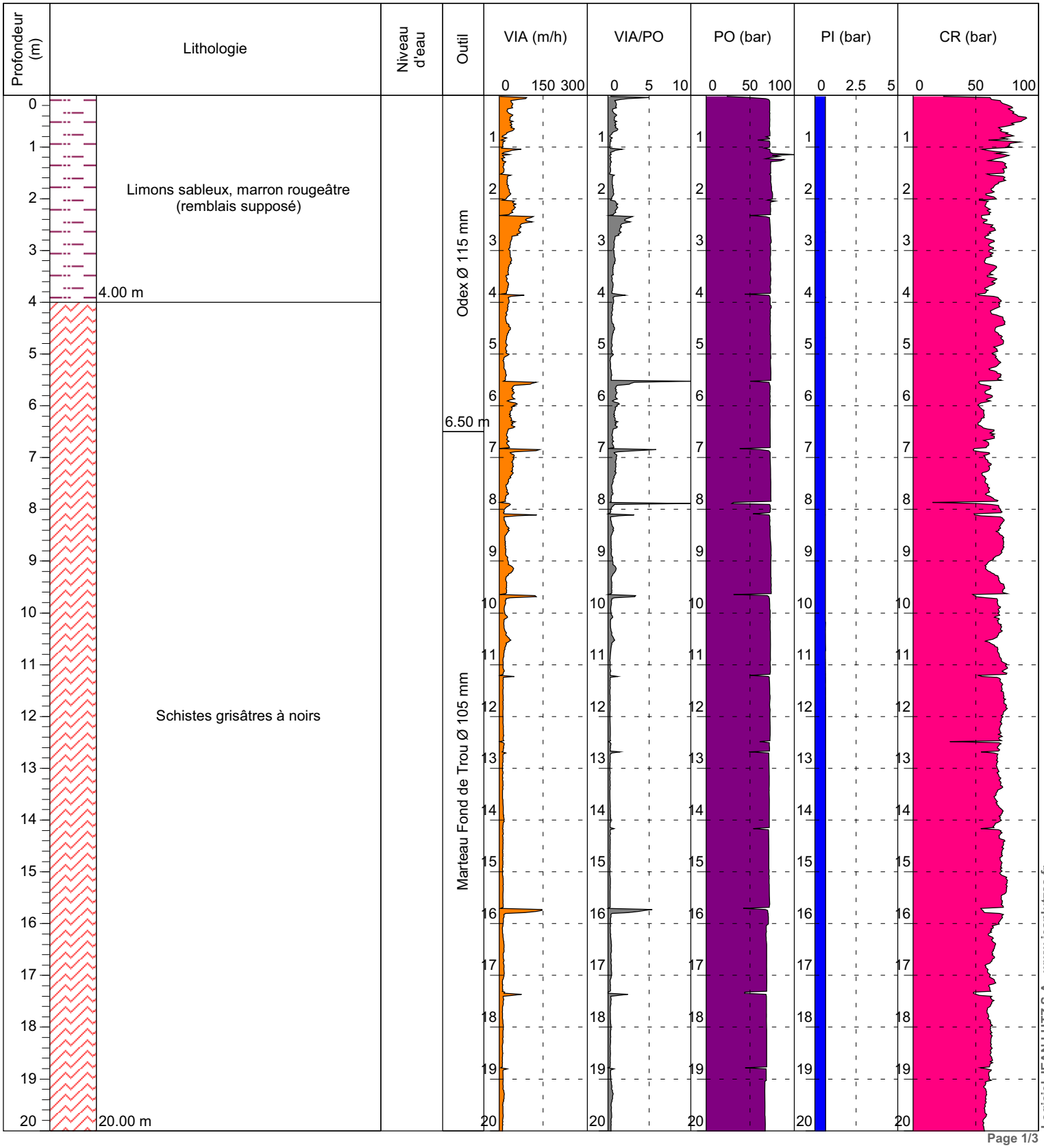
Date de début : **25/06/2015** Machine : **OPTIMA** Profondeur : **0.00 - 50.00 m**

Date fin : **26/06/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S11

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



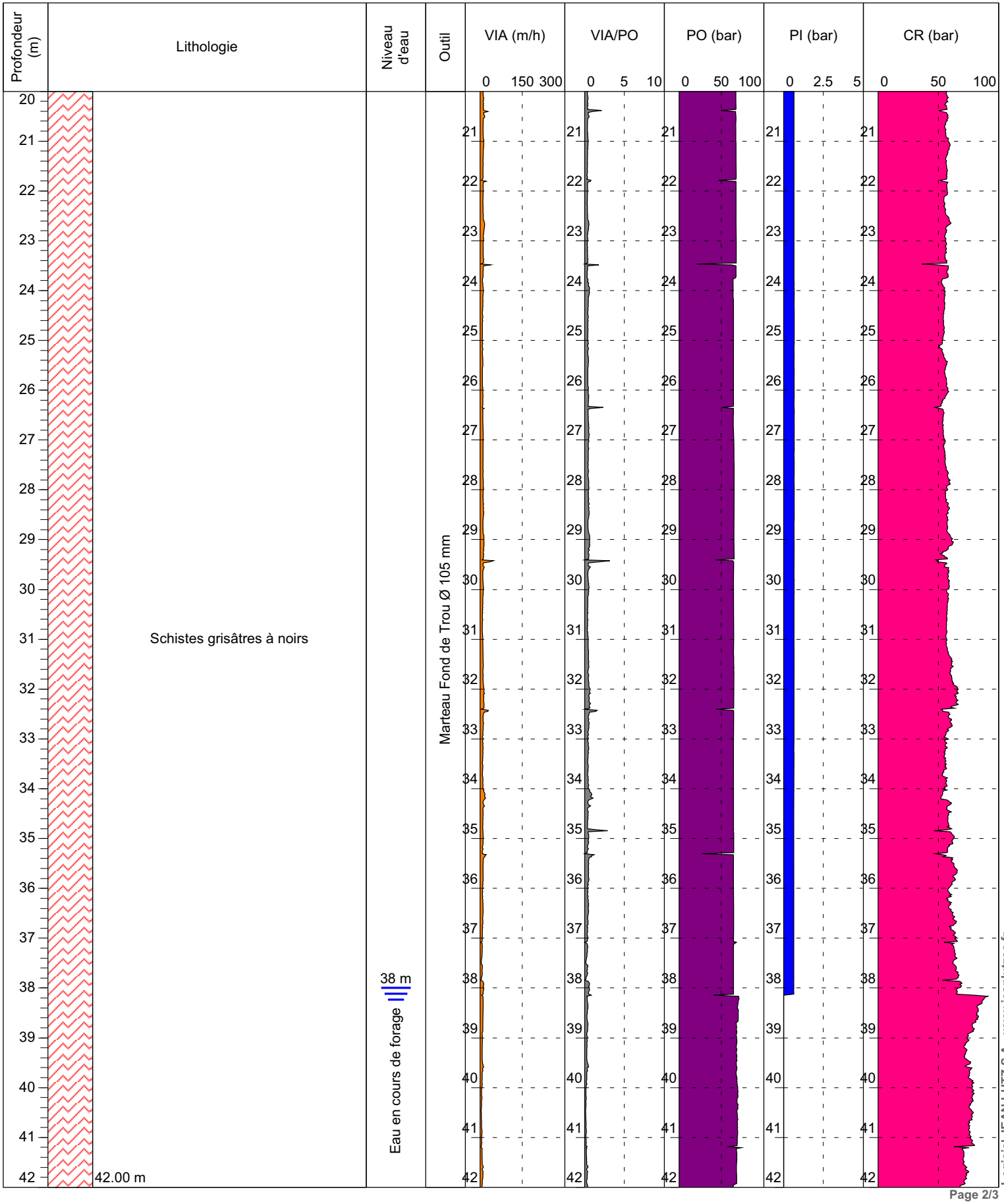
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/3

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S11

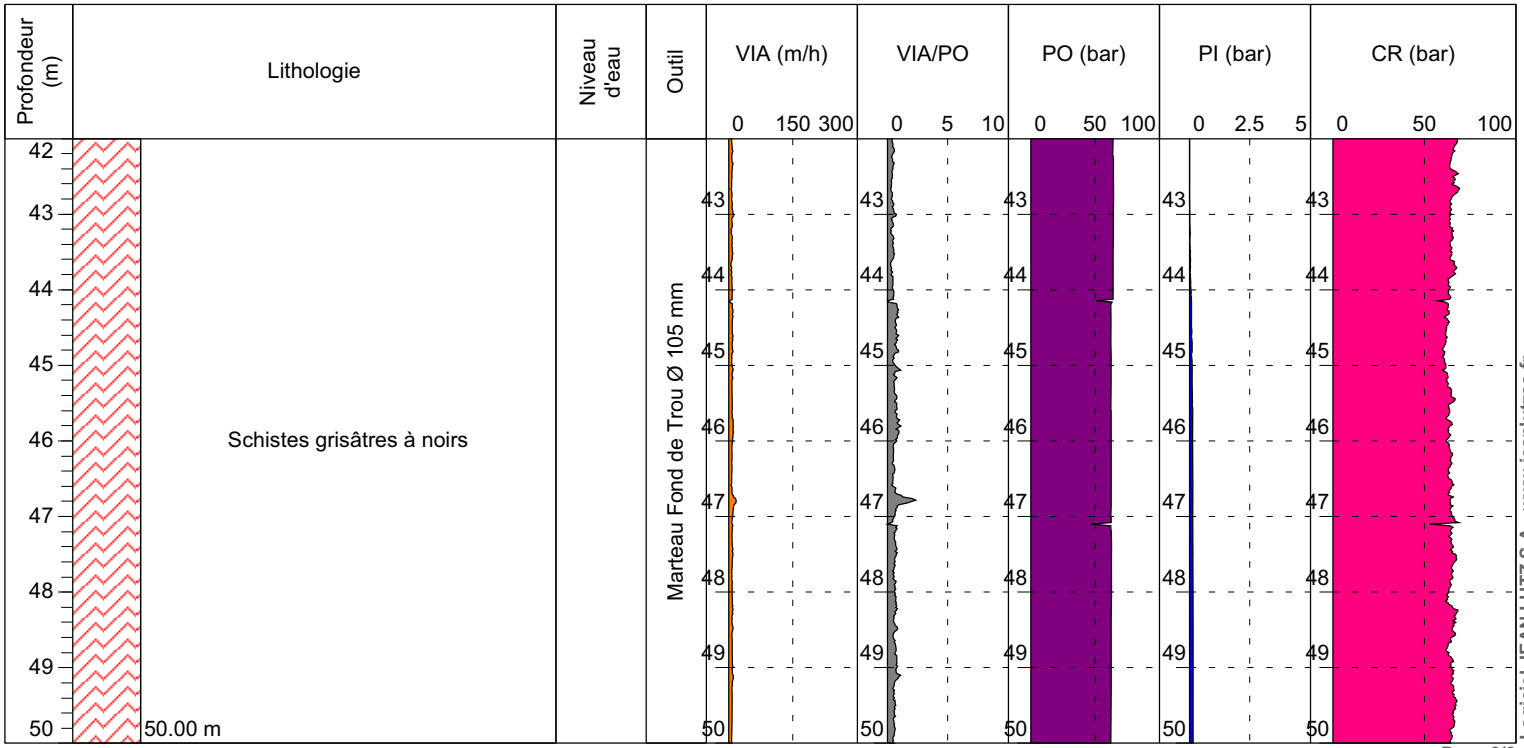


Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S11



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

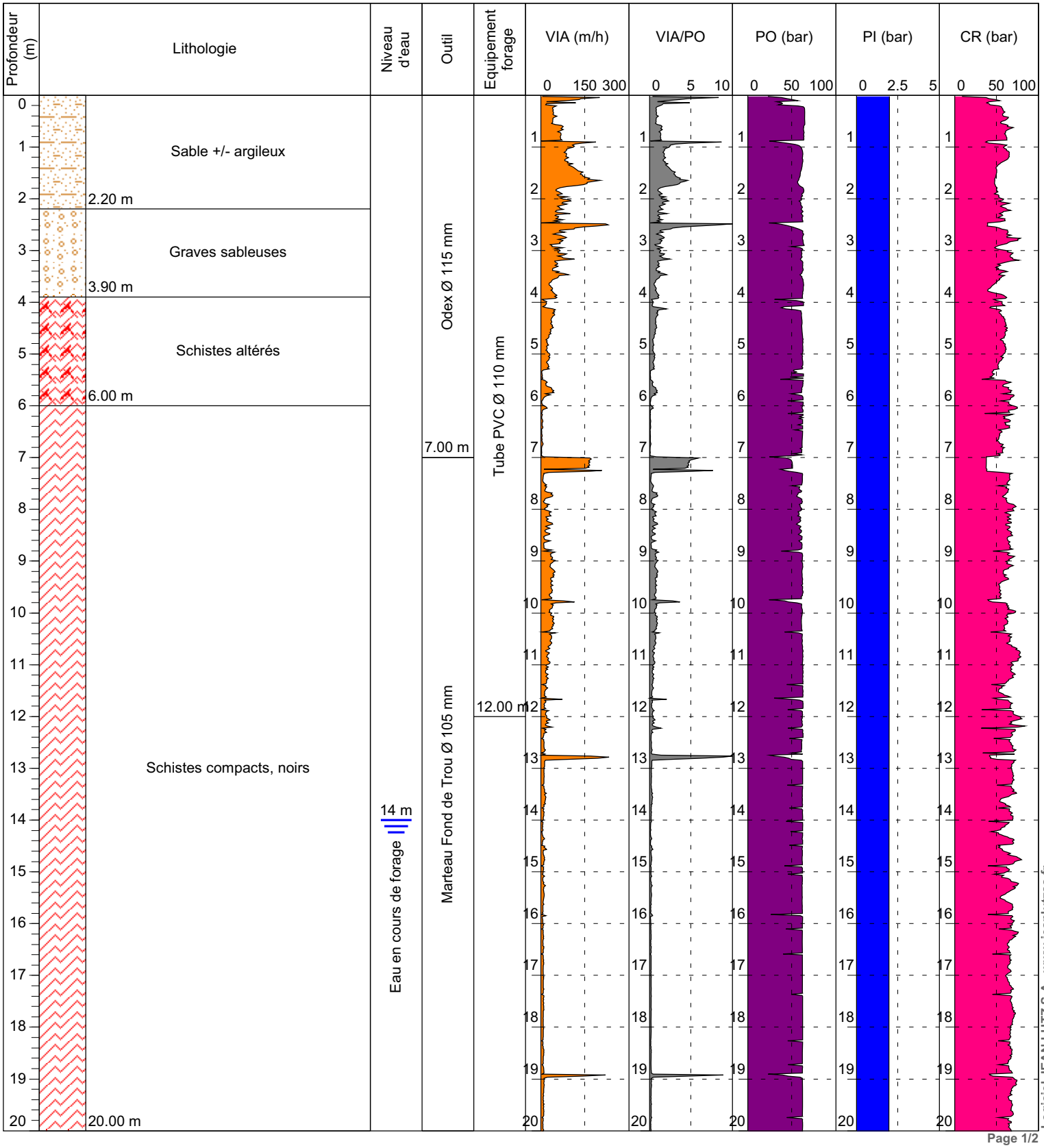
Date de début : **17/07/2015** Machine : **VD700** Profondeur : **0.00 - 30.03 m**

Date fin : **17/07/2015** Angle : **4°**

1/100

Sondage : S12

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



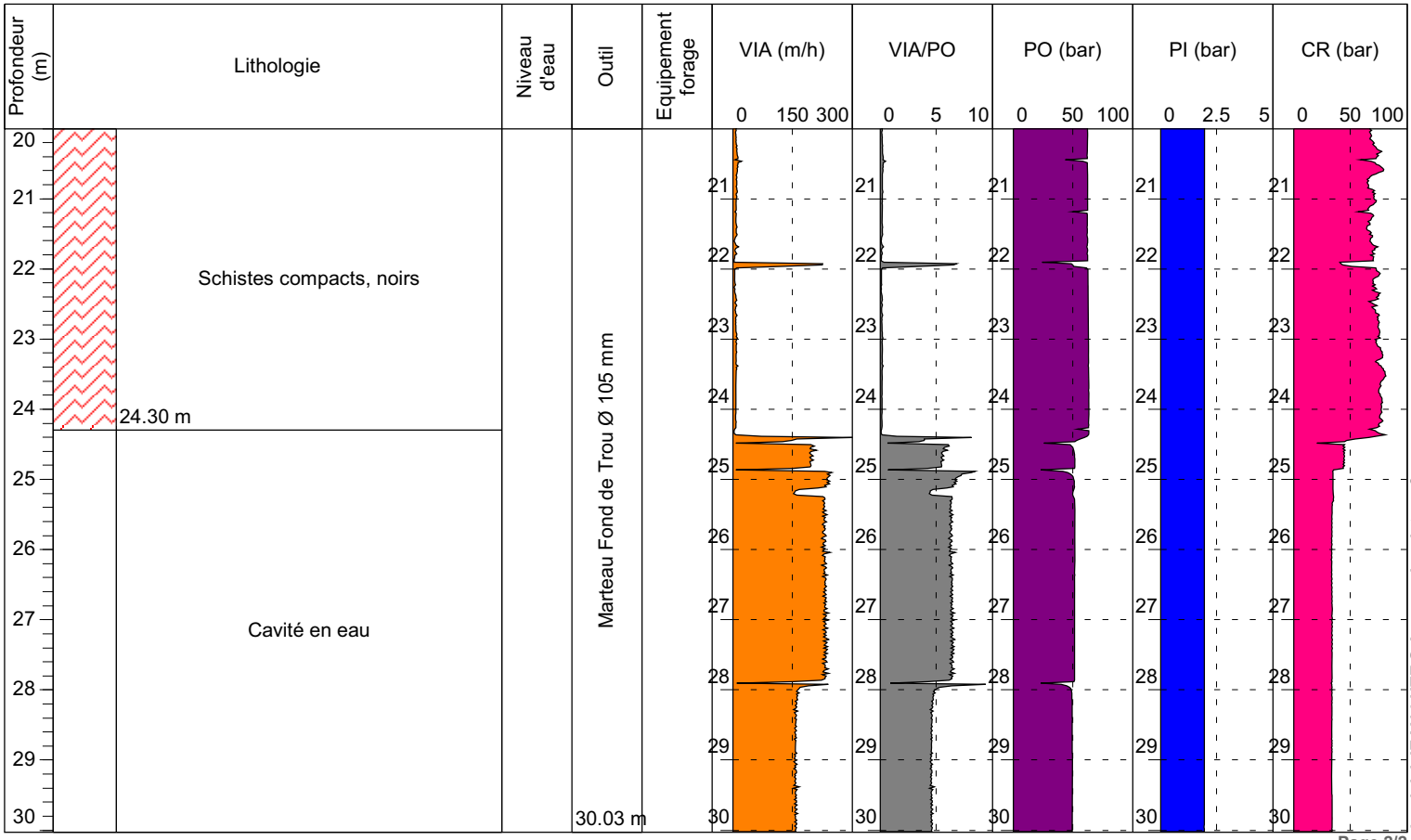
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/2

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S12



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 2/2

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire EB1500014

CAVITES - ALLASSAC

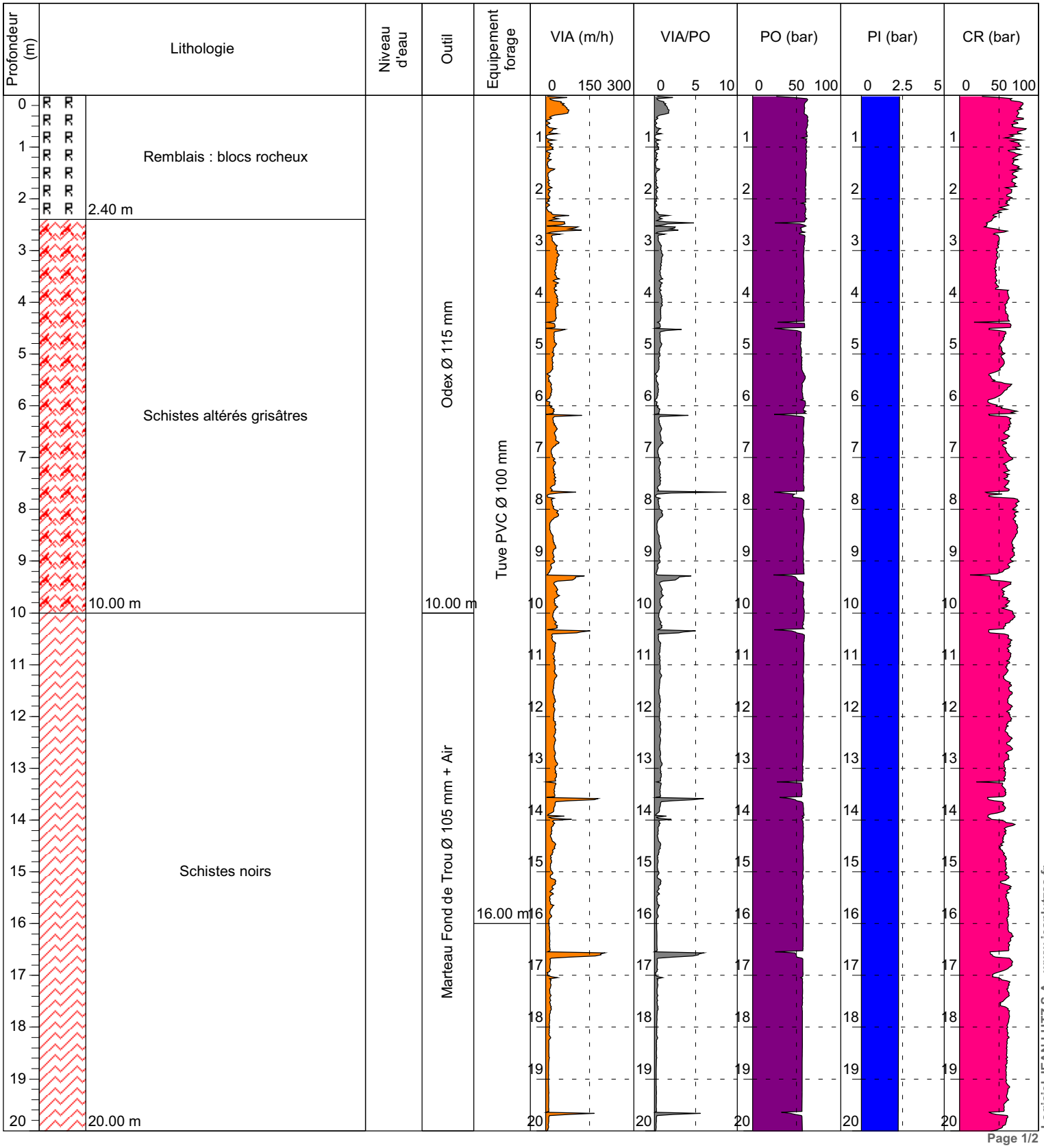
Date de début : **16/07/2015** Machine : **VD700** Profondeur : **0.00 - 40.00 m**

Date fin : **16/07/2015** Angle : **vertical**

1/100

Sondage : S14

EXGTE ß3.17.17/BP5EPF354FR



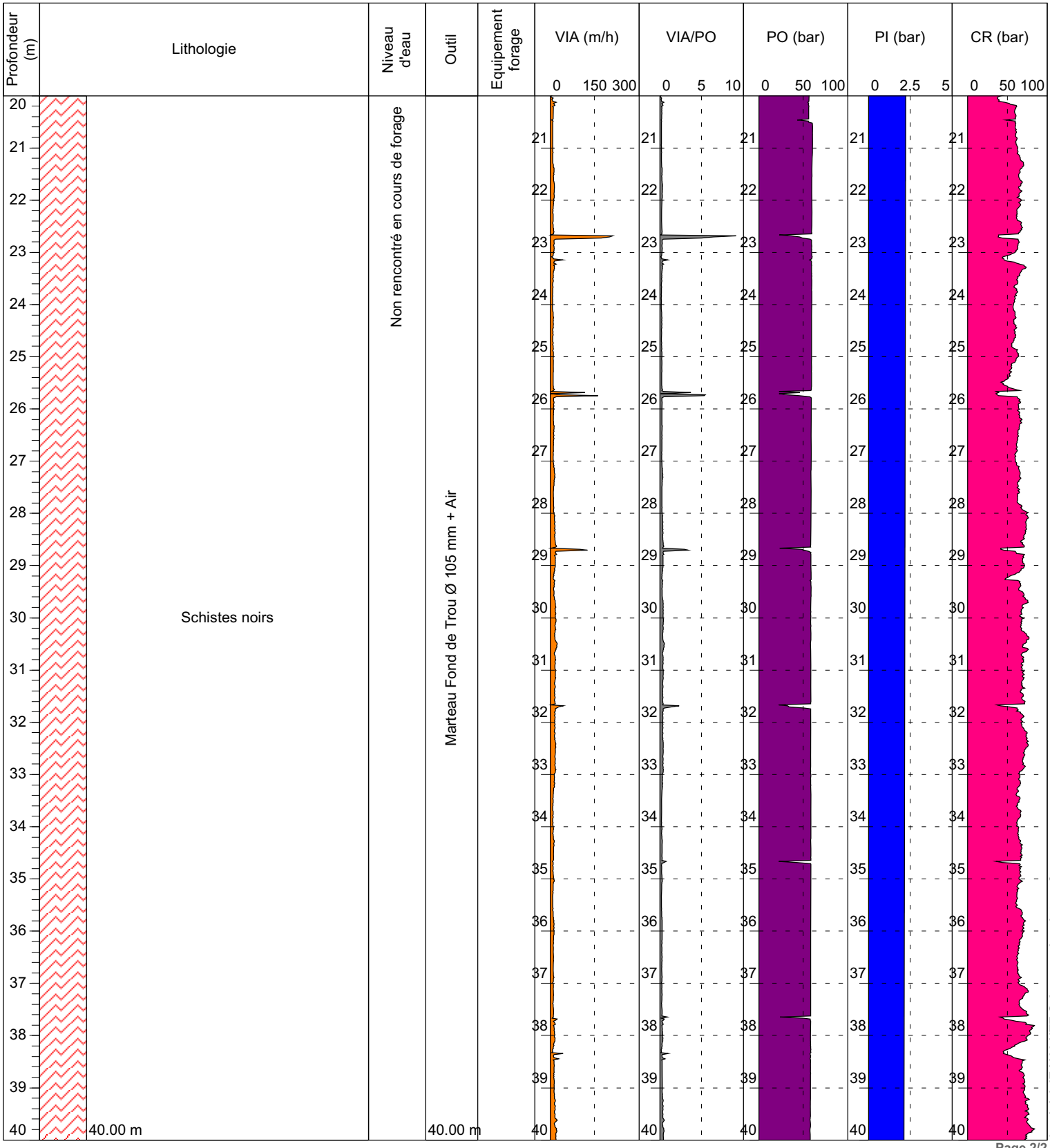
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 1/2

CAVITES - ALLASSAC

1/100

S14



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Page 2/2

VIA : vitesse d'avancement
VIA/PO = Vitesse d'avancement / pression de poussée - pression de retenue
PO : pression de poussée
PI : pression d'injection
CR : couple de rotation

n° affaire AFEB140009

RECONNAISSANCES DE CAVITES - ALLASSAC

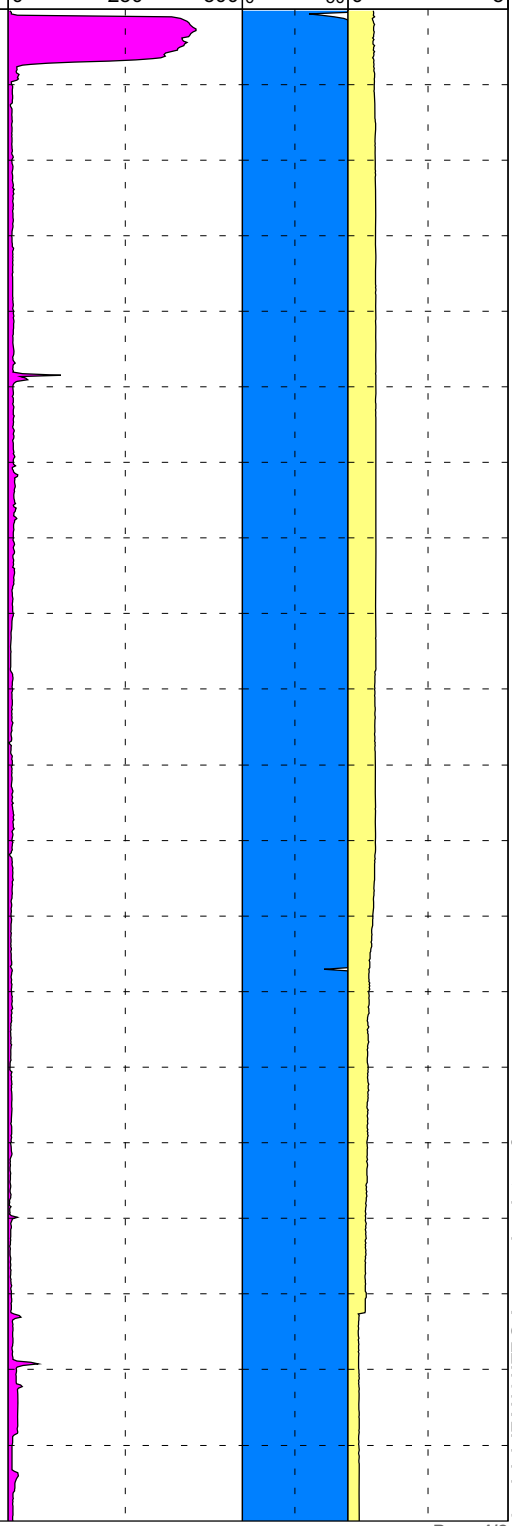
Date : **24/02/2014** Machine : **SOCO65.2** Profondeur : **0.00 - 30.00 m**

1/100

Sondage : SC1

EXGTE 3.15/GTE

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Tubage	Niveau d'eau (m)
0.80 m	Remblais : brisures de schiste, ardoise.	Taillant rotation Ø80mm + EAU	Aucun tubage	
	Schiste ardoisier franche avec quelques veines altérées éparses.			



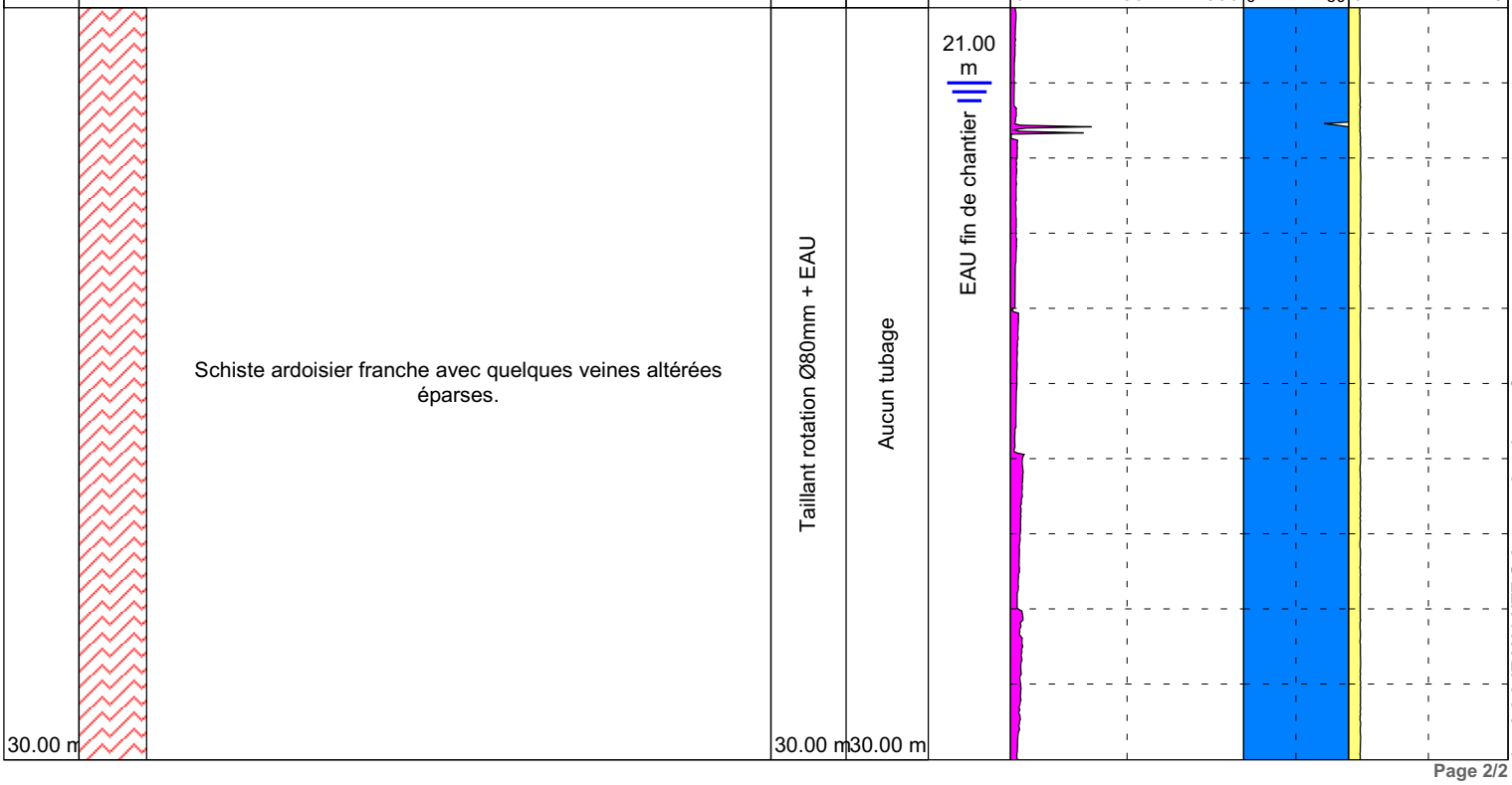
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

RECONNAISSANCES DE CAVITES - ALLASSAC

1/100

SC1

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Tubage	Niveau d'eau (m)	Vitesse d'Avancement	Pression injection (bar)	Pression poussée (bar)
30.00 m	Schiste ardoisier franche avec quelques veines altérées éparses.	Taillant rotation Ø80mm + EAU 30.00 m	Aucun tubage 30.00 m	21.00 m EAU fin de chantier	0 250 500	0 50	0 5



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

n° affaire AFEB140009

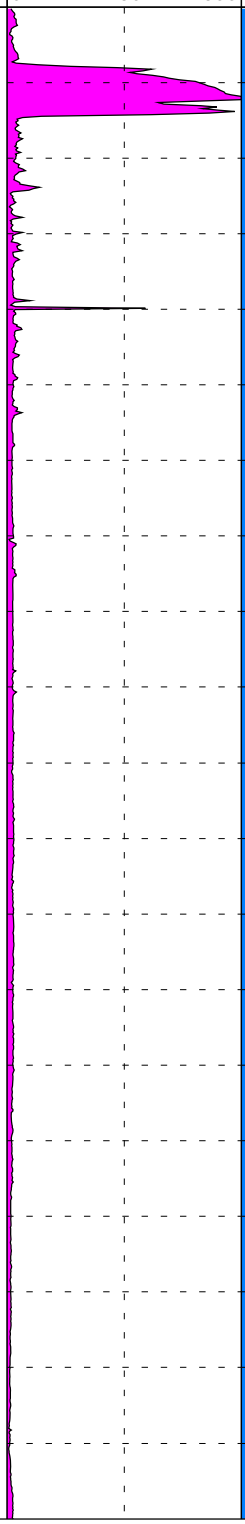
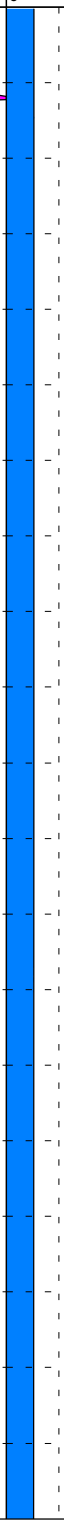
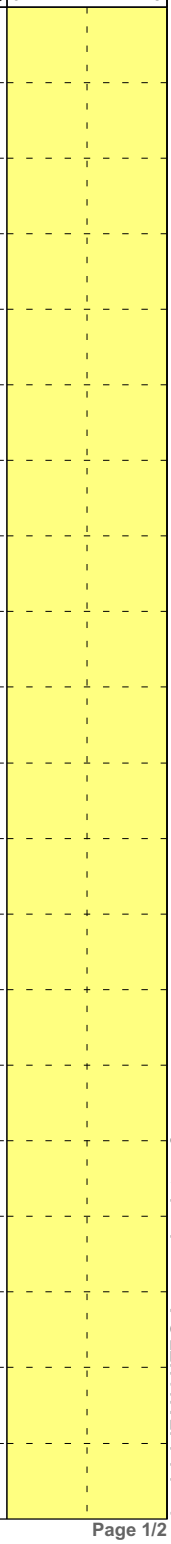
RECONNAISSANCES DE CAVITES - ALLASSAC

Date : **24/02/2014** Machine : **SOCO65.2** Profondeur : **0.00 - 27.00 m**

1/100

Sondage : SC2

EXGTE 3.15/GTE

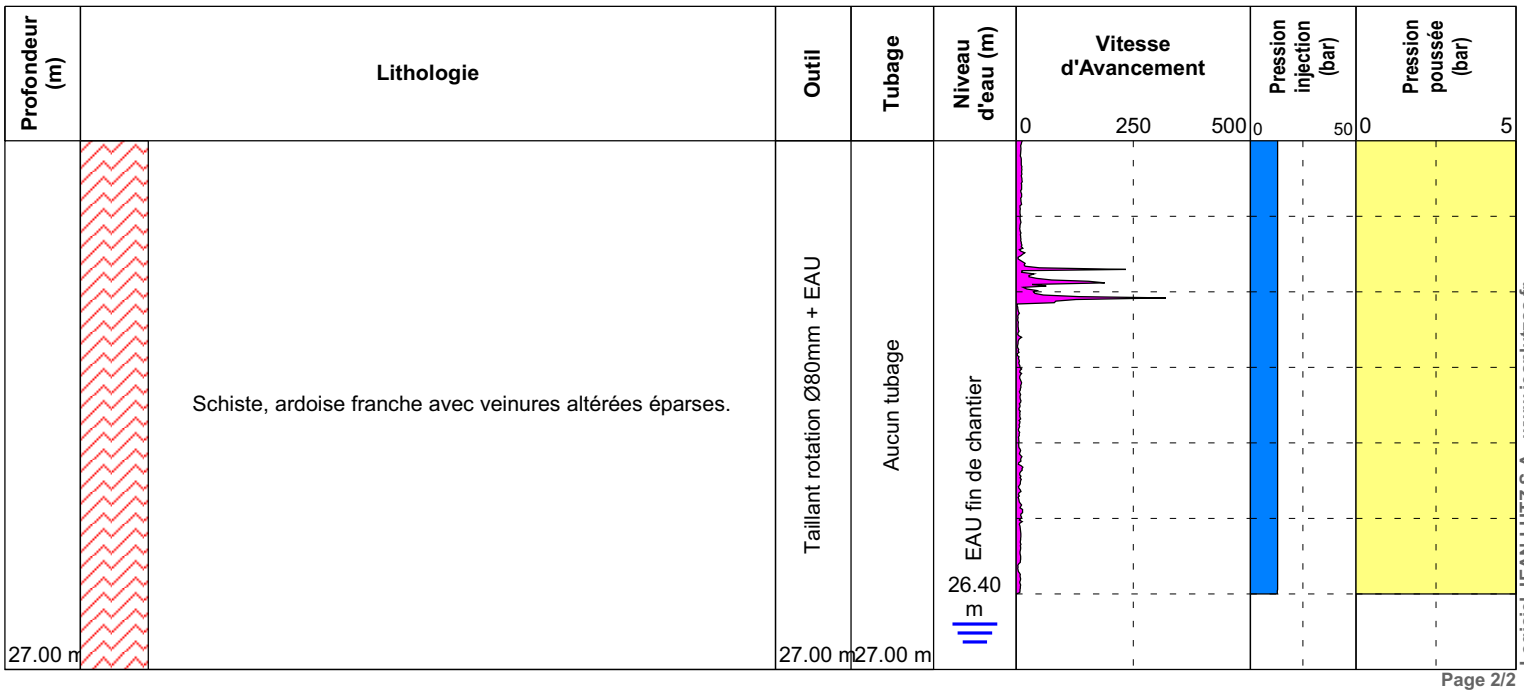
Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Tubage	Niveau d'eau (m)	Vitesse d'Avancement (0 – 250 – 500)	Pression injection (bar) (0 – 50)	Pression poussée (bar) (0 – 5)
1.50 m	Bitume + remblai divers : sableux + ardoises.	Taillant rotation Ø80mm + EAU	Aucun tubage				
	Schiste, ardoise franche avec veinures altérées éparses.						

Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

RECONNAISSANCES DE CAVITES - ALLASSAC

1/100

SC2



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

n° affaire AFEB140009

RECONNAISSANCES DE CAVITES - ALLASSAC

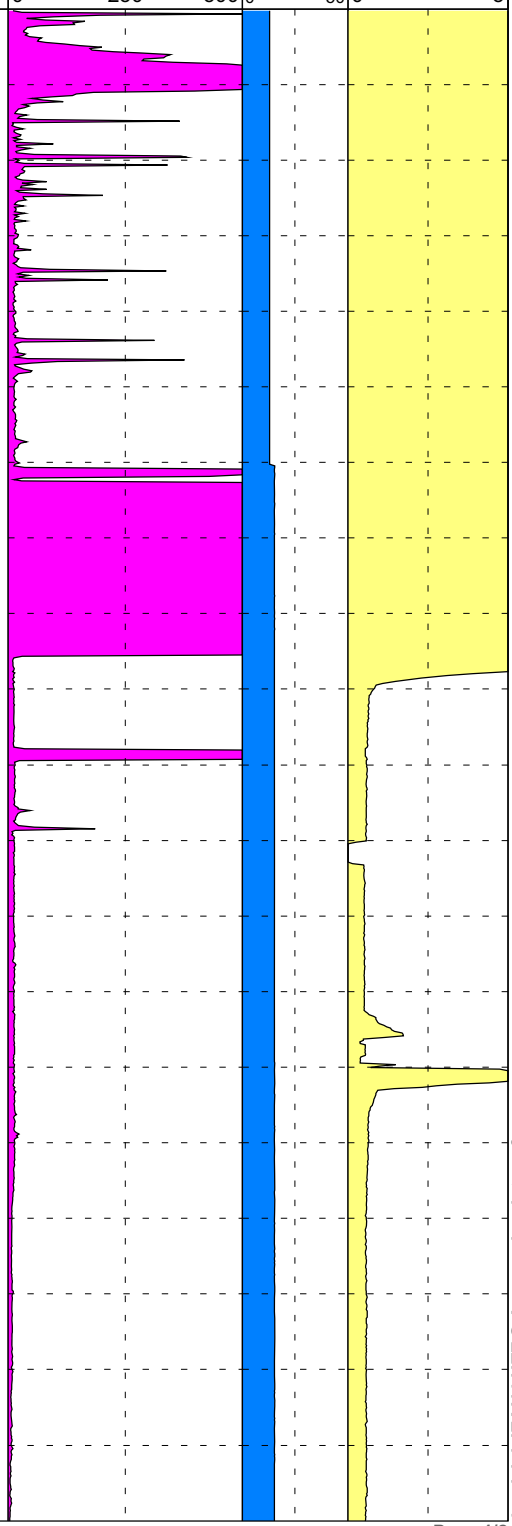
Date : **24/02/2014** Machine : **SOCO65.2** Profondeur : **0.00 - 30.00 m**

1/100

Sondage : SC3

EXGTE 3.15/GTE

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Tubage	Niveau d'eau (m)
1.00 m	Remblais : sables + débris ardoisiers	Taillant rotation Ø80mm + EAU	Aucun tubage	EAU non observée
6.00 m	Schistes ardoisiers noirs, francs			
8.50 m	Schiste ardoisier trèst fracturé			
	Schistes ardoirsiers noirs, francs, avec quelques veines altérées			



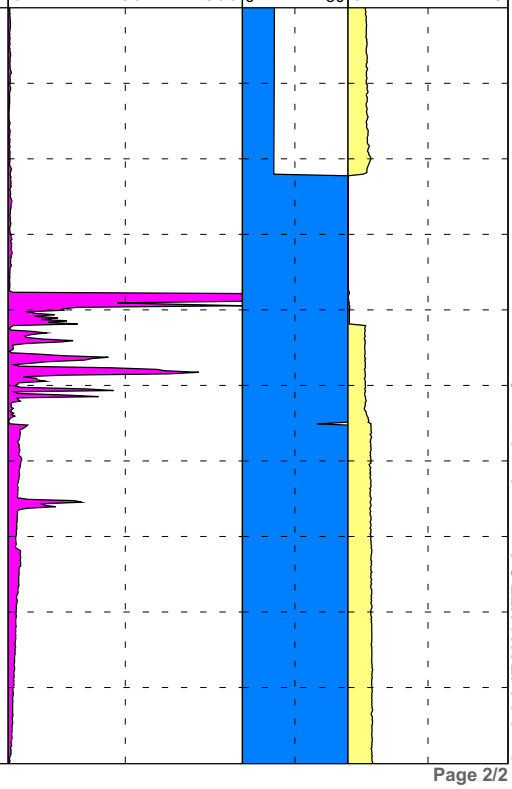
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

RECONNAISSANCES DE CAVITES - ALLASSAC

1/100

SC3

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Tubage	Niveau d'eau (m)	Vitesse d'Avancement	Pression injection (bar)	Pression poussée (bar)
	Schistes ardoirsiers noirs, francs, avec quelques veines altérées	Taillant rotation Ø80mm + EAU	Aucun tubage		0 250 500	0 50	0 5
30.00 m		30.00 m	30.00 m				



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Conditions Générales

1. Avertissement, préambule

Toute commande et ses avenants éventuels impliquent de la part du co-contractant, ci-après dénommé « le Client », signataire du contrat et des avenants, acceptation sans réserve des présentes conditions générales.
Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres, sauf conditions particulières contenues dans le devis ou dérogation formelle et explicite. Toute modification de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit du Prestataire.

2. Déclarations obligatoires à la charge du Client (DT, DICT, ouvrages exécutes)

Dans tous les cas, la responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages publics ou privés (en particulier, Client, (DT, DICT, ouvrages exécutés)ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à sa mission.
Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles DICT (le délai de réponse est de 15 jours) et pour connaitre l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.
Conformément à l'art L 411-1 du code minier, le Client s'engage à déclarer à la DREAL tout forage réalisé de plus de 10 m de profondeur. De même, conformément à l'article R 214-1 du code de l'environnement, le Client s'engage à déclarer auprès de la DDT du lieu des travaux les sondages et forages destinés à la recherche, à la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

3. Cadre de la mission, objet et nature des prestations, prestations exclues, limites de la mission

Le terme « prestation » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'un prix nouveau à négocier. Il est entendu que le Prestataire s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Son obligation est une obligation de moyen et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux. Le Prestataire réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement), confirmée par le bon de commande ou un contrat signé du Client.
La mission et les investigations éventuelles sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.
Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement convenue dans le devis ; dans ce cas, la solidarité ne s'exerce que sur la durée de la mission.
Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil. La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés.
Si le Prestataire déclare être titulaire de la certification ISO 9001, le Client agit de telle sorte que le Prestataire puisse respecter les dispositions de son système qualité dans la réalisation de sa mission.

4. Plans et documents contractuels

Le Prestataire réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité.

5. Limites d'engagement sur les délais

Sauf indication contraire précise, les estimations de délais d'intervention et d'exécution données aux termes du devis ne sauraient engager le Prestataire. Sauf stipulation contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard et si tel devait être le cas elles seraient plafonnées à 5% de la commande. En toute hypothèse, la responsabilité du Prestataire est dégagée de plein droit en cas d'insuffisance des informations fournies par le Client ou si le Client n'a pas respecté ses obligations, en cas de force majeure ou d'événements imprévisibles (notamment la rencontre de sols inattendus, la survenance de circonstances naturelles exceptionnelles) et de manière générale en cas d'événement extérieur au Prestataire modifiant les conditions d'exécution des prestations objet de la commande ou les rendant impossibles.
Le Prestataire n'est pas responsable des délais de fabrication ou d'approvisionnement de fournitures lorsqu'elles font l'objet d'un contrat de négoce passé par le Client ou le Prestataire avec un autre Prestataire.

6. Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures

Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'une part d'obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au

Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public, d'autre part de fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes. Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, entrant dans ces domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée au Prestataire avant toutes interventions.
Sauf spécifications particulières, les travaux permettant l'accessibilité aux points de sondages ou d'essais et l'aménagement des plates-formes ou grutage nécessaires aux matériels utilisés sont à la charge du Client.
Les investigations peuvent entraîner d'inévitables dommages sur le site, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part de son exécutant. Les remises en état, réparations ou indemnisations correspondantes sont à la charge du Client.

7. Implantation, nivellement des sondages

Au cas où l'implantation des sondages est imposée par le Client ou son conseil, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation. La mission ne comprend pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre Expert avant remodelage du terrain. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

8. Hydrogéologie

Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude les aléas suivants subsistent, notamment la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

9. Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux

Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, le Prestataire a été amené à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de lui communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions.
L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inéluctables à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains. Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.
L'estimation des quantités des ouvrages géotechniques nécessite, une mission d'étude géotechnique de conception G2 (phase projet). Les éléments géotechniques non décelés par l'étude et mis en évidence lors de l'exécution (pouvant avoir une incidence sur les conclusions du rapport) et les incidents importants survenus au cours des travaux (notamment glissement, dommages aux avoisinants ou aux existants) doivent obligatoirement être portés à la connaissance du Prestataire ou signalés aux géotechniciens chargés des missions de suivi géotechnique d'exécution G3 et de supervision géotechnique d'exécution G4, afin que les conséquences sur la conception géotechnique et les conditions d'exécution soient analysées par un homme de l'art.

10. Rapport de mission, réception des travaux, fin de mission, délais de validation des documents par le client

A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. La date de la fin de mission est celle de l'approbation par le Client du dernier document à fournir dans le cadre de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client, et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

11. Réserve de propriété, confidentialité, propriété des études, diagrammes

Les coupes de sondages, plans et documents établis par les soins du Prestataire dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par le Prestataire qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire du Prestataire, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable écrit du Prestataire. Si dans le cadre de sa mission, le Prestataire mettait au point une nouvelle technique, celle-ci serait sa propriété. Le Prestataire serait libre de déposer tout brevet s'y rapportant, le Client bénéficiant, dans ce cas, d'une licence non exclusive et non cessible, à titre gratuit et pour le seul ouvrage étudié.

12. Modifications du contenu de la mission en cours de réalisation

La nature des prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le client et ceux recueillis lors de l'établissement de l'offre. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement de son offre touchant à la géologie, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant en cours de mission autorisent le Prestataire à proposer au Client un avenant avec notamment modification des prix et des délais. A défaut d'un accord écrit du Client dans un délai de deux semaines à compter de la réception de la lettre d'adaptation de la mission. Le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution de sa mission, les prestations réalisées à cette date étant rémunérées intégralement, et sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Dans l'hypothèse où le Prestataire est dans l'impossibilité de réaliser les prestations prévues pour une cause qui ne lui est pas imputable, le temps d'immobilisation de ses équipes est rémunéré par le client.

13. Modifications du projet après fin de mission, délai de validité du rapport

Le rapport constitue une synthèse de la mission définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité du Prestataire et pourra entraîner des poursuites judiciaires. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet et à son environnement ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, nécessite une adaptation du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission. Le client doit faire actualiser le dernier rapport de mission en cas d'ouverture du chantier plus de 1 an après sa livraison. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

14. conditions d'établissement des prix, variation dans les prix, conditions de paiement, acompte et provision, retenue de garantie

Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois. Au-delà, ils sont actualisés par application de l'indice "Sondages et Forages TP 04" pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTEC » pour les prestations d'études, l'Indice de base étant celui du mois de l'établissement du devis.
Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur le coût de la mission.
Dans le cas où le marché nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies. Lors de la passation de la commande ou de la signature du contrat, le Prestataire peut exiger un acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières et correspond à un pourcentage du total estimé des honoraires et frais correspondants à l'exécution du contrat. Le montant de cet acompte est déduit de la facture ou du décompte final. En cas de sous-traitance dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.
Les paiements interviennent à réception de la facture et sans escompte. En l'absence de paiement au plus tard le jour suivant la date de règlement figurant sur la facture, il sera appliqué à compter dudit jour et de plein droit, un intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à son opération de refinancement la plus récente majorée de 10 points de pourcentage. Cette pénalité de retard sera exigible sans qu'un rappel soit nécessaire à compter du jour suivant la date de règlement figurant sur la facture.
En sus de ces pénalités de retard, le Client sera redevable de plein droit des frais de recouvrement exposés ou d'une indemnité forfaitaire de 40 €.
Si la carence du Client rend nécessaire un recouvrement contentieux, le Client s'engage à payer, en sus du principal, des frais, dépens et émoluments ordinairement et légalement à sa charge, une indemnité fixée à 15% du montant en principal TTC de la créance avec un minimum de 150 euros et ce, à titre de dommages et intérêts conventionnels et forfaitaires. Cette indemnité est due de plein droit, sans mise en demeure préalable, du seul fait du non-respect de la date. Un désaccord quelconque ne saurait constituer un motif de non paiement des prestations de la mission réalisées antérieurement. La compensation est formellement exclue : le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue des honoraires dus.

15. Résiliation anticipée

Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de conciliation. En cas de force majeure, cas fortuit ou de circonstances indépendantes du Prestataire, celui-ci a la faculté de résilier son contrat sous réserve d'en informer son Client par lettre recommandée avec accusé de réception. En toute hypothèse, en cas d'inexécution par l'une ou l'autre des parties de ses obligations, et 8 jours après la mise en demeure visant la présente clause résolutoire demeurée sans effet, le contrat peut être résilié de plein droit. La résiliation du contrat implique le paiement de l'ensemble des prestations régulièrement exécutées par le Prestataire au jour de la résiliation et en sus, d'une indemnité égale à 20 % des honoraires qui resteraient à percevoir si la mission avait été menée jusqu'à son terme.

16. Répartition des risques, responsabilités et assurances

Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte tenu de sa compétence. Ainsi par exemple, l'attention du Client est attirée sur le fait que le béton armé est inévitablement fissuré, les revêtements appliqués sur ce matériau devant avoir une souplesse suffisante pour s'adapter sans dommage aux variations d'ouverture des fissures. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution de la mission spécifiquement confiée. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la mission doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une mission complémentaire. A défaut de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la mission complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir de données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des prestations est entachée d'une incertitude fonction de la représentativité de ces données ponctuelles extrapolées à l'ensemble du site. Toutes les pénalités et indemnités qui sont prévues au contrat ou dans l'offre remise par le Prestataire ont la nature de dommages et intérêts forfaitaires, libératoires et exclusifs de toute autre sanction ou indemnisation.

Assurance décennale obligatoire
Le Prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-1 du Code des assurances. Ce contrat impose une obligation de déclaration préalable et d'adaptation de la garantie pour les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 15 M€. Il est expressément convenu que le client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Le client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Le client prendra en charge toute éventuelle surcotisation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voire inusuels sont exclus du présent contrat et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. A défaut de respecter ces engagements, le client en supportera les conséquences financières.
Le maître d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).

Ouvrages non soumis à l'obligation d'assurance
Les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire qui en référera à son assureur pour détermination des conditions d'assurance. Les limitations relatives au montant des chantiers auxquels le Prestataire participe ne sont pas applicables aux missions portant sur des ouvrages d'infrastructure linéaire, c'est-à-dire routes, voies ferrées, tramway, etc. En revanche, elles demeurent applicables lorsque sur le tracé linéaire, la/les mission(s) de l'assuré porte(nt) sur des ouvrages précis tels que ponts, viaducs, échangeurs, tunnels, tranchées couvertes... En tout état de cause, il appartiendra au client de prendre en charge toute éventuelle sur cotisation qui serait demandée au prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le client et le maître d'ouvrage.

Le Prestataire assume les responsabilités qu'il engage par l'exécution de sa mission telle que décrite au présent contrat. A ce titre, il est responsable de ses prestations dont la défectuosité lui est imputable. Le Prestataire sera garanti en totalité par le Client contre les conséquences de toute recherche en responsabilité dont il serait l'objet du fait de ses prestations, de la part de tiers au présent contrat, le client ne garantissant cependant le Prestataire qu'au delà du montant de responsabilité visé ci-dessous pour le cas des prestations défectueuses. La responsabilité globale et cumulée du Prestataire au titre ou à l'occasion de l'exécution du contrat sera limitée à trois fois le montant de ses honoraires sans pour autant excéder les garanties délivrées par son assureur, et ce pour les dommages de quelque nature que ce soit et quel qu'en soit le fondement juridique. Il est expressément convenu que le Prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs ou non à un dommage matériel tels que, notamment, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat, la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements.

17. Cessibilité de contrat

Le Client reste redevable du paiement de la facture sans pouvoir opposer à quelque titre que ce soit la cession du contrat, la réalisation pour le compte d'autrui, l'existence d'une promesse de porte-fort ou encore l'existence d'une stipulation pour autrui.

18. Litiges

En cas de litige pouvant survenir dans l'application du contrat, seul le droit français est applicable. Seules les juridictions du ressort du siège social du Prestataire sont compétentes, même en cas de demande incidente ou d'appel en garantie ou de pluralité de défendeurs.

Juillet 2014

Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés ci-après. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Enchainement des missions G1 à G4	**Phases de la maîtrise d'œuvre**	**Mission d'ingénierie géotechnique et Phase de la mission**		**Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques**	**Niveau de management des risques géotechniques attendu**	**Prestations d'investigations géotechniques à réaliser**
Étape 1 : Etude géotechnique préalable (G1)		**Etude géotechnique préalable (G1) Phase Etude de Site (ES)**		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Etude préliminaire, Esquisse, APS	**Etudes géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)**		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonctions des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Etude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	**Etude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)**		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (*choix constructifs*)
	PRO	**Etudes géotechniques de conception (G2) Phase Projet (PRO)**		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (*choix constructifs*)
	DCE/ACT	**Etude géotechnique de conception (G2) Phase DCE/ACT**		Consultation sur le projet de base/choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Etudes géotechniques de réalisation (G3/G4)		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	**Etude de suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Etude** *(en interaction avec la phase suivi)*	**Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution** (*en interaction avec la phase supervision du suivi*)	Etude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (*réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience*)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	**Etude et suivi géotechniques d'exécutions (G3) Phase Suivi** *(en interaction avec la Phase Etude)*	**Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution** (*en interaction avec la phase Supervision de l'étude*)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
A toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	**Diagnostic géotechnique (G5)**		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante Février 2014

Classification des missions d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases:

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases:

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participé à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives:

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques: notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs: plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives:

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

Février 2014

fondasol

TERRITOIRE(S) D'EXIGENCE

Annexe 3 : Campagne de mesure Laser et Sonar Cavités - Campagne 2014 et 2015

Challenging the limits

MESURE LASER-IMAGE

CLIENT	**BRGM LIMOUSIN**
SITE	**ALLASSAC**
CAVITÉ	**CHARTROULLES**
DATE	**22/07/2015**
N° DE RELEVÉ	**1**
N° DE RAPPORT	**15-1008**
RÉDACTEUR	**Timothée de BENOIST**
RELECTEUR	**Isabelle TEZENAS**

FLODIM FRANCE
Technoparc des Grandes Terres
110, rue des Rizières
04100 Manosque
FRANCE

Tel : +33 (0)4 92 71 15 93
Fax : +33 (0)4 92 71 16 01
www.flodim.com / contact@flodim.fr
R.C.S. Manosque B 399286020
SIRET 399 286 020 000 74

I. DÉROULEMENT DE LA MESURE LASER-IMAGE

Mercredi 22/07/2015

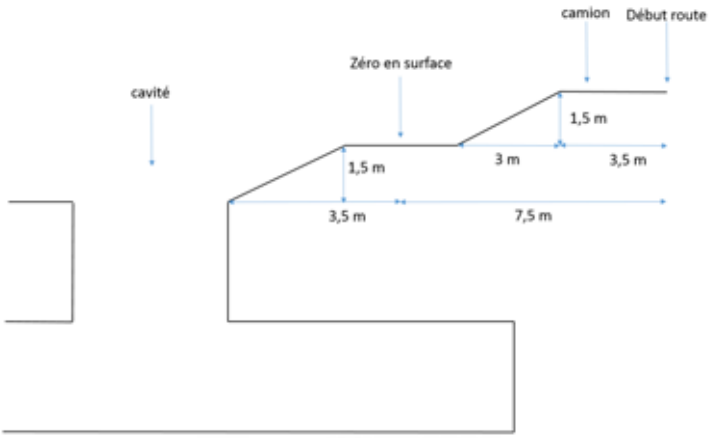
10 :00 Arrivée de l'unité Flodim sur le site d'ALLASSAC.

10 :15 Arrivée sur la crevasse de CHARTROULLES.
Mise en place de l'unité. Montage des équipements.
Difficulté à mettre en place l'unité due à un manque d'accessibilité sur le site. Mise en place d'un système pour descendre les outils.

12 :00 Descente de la caméra véro dans la crevasse de Chartroulles (cf rapport vidéo)

15 :00 Montage de la sonde laser n°1 équipée de la caméra.

15 :15 **Zéro profondeur en surface.**
Difficulté à faire le zéro pour des raisons de sécurité (cf schéma)



16 :00 Début de la descente de la sonde laser dans le puits de Chartroulles.

16 :30 Début de l'acquisition laser : coupes orientées acquises depuis une profondeur de 10.0 m, d'inclinaison -30° à 30° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

17 :15 Début de l'acquisition laser : coupes orientées acquises depuis une profondeur de 14.0 m, d'inclinaison -50° à 50° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

18 :00 Début de l'acquisition laser : coupes orientées acquises depuis une profondeur de 18.0 m, d'inclinaison -40° à 40° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.
Perte de communication avec la sonde 1, remontée de la sonde.

Début de la descente de la sonde 1.

19 :45 Début de l'acquisition laser : coupes orientées acquises depuis une profondeur de 23.0 m, d'inclinaison -30° à 55° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

20 :30 Début de l'acquisition laser : coupes orientées acquises depuis une profondeur de 27.0 m, d'inclinaison -25° à 55° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

21:15 Fin de l'acquisition. Validation des mesures.
Début de la remontée de la sonde laser.

21 :30 Démontage des équipements.

22 :00 Départ de l'unité du puits de Chartroulles.

Jeudi 23/07/2015

15 :00 Arrivée sur la crevasse de CHARTROULLES.
Mise en place de l'unité. Montage des équipements.

16 :00 Montage de la sonde laser n°2 équipée de la caméra.

16 :15 Début de la descente de la sonde laser dans le puits de Chartroulles.
Difficulté à déporter la sonde de la paroi et à obtenir les extensions maximales dans la direction de la route.
Décision collégiale avec le superviseur sur site de quitter le site.

18 :00 Départ de l'unité du puits de Chartroulles.

II. CARACTÉRISTIQUES DU RELEVÉ LASER

Hauteur de la cavité dans l'axe du puits			environ 27.0 m
Volume laser reconnu de la cavité			3 361 m^3
Profondeur du point le plus haut mesuré de la cavité			4.32 m
Profondeur du point le plus haut de la cavité dans l'axe de la sonde			4.32 m
Profondeur du point le plus bas mesuré de la cavité			31.0 m
Profondeur du point le plus bas de la cavité dans l'axe de la sonde			31.0 m
Référence de la profondeur en surface			sol/bride
Rayon maximum mesuré lors de l'opération (à la profondeur de 22.0 m, dans l'azimut 126°)			30.5 m
Nombre de coupes horizontales acquises			3
Nombre de coupes inclinées acquises			85
Coordonnées Lambert II du puits	X = xxxxxx.xx	Y = xxxxxx.xx	Z = xxx.xx m
Équipements Flodim	Unité mobile Fourgon		Sonde laser 1

III. LISTE DES ENREGISTREMENTS EFFECTUÉS

- 13 coupes circulaires orientées à partir de 10.0 m de profondeur.
  Inclinaisons de -30° à +30° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

- 21 coupes circulaires orientées à partir de 14.0 m de profondeur.
  Inclinaisons de -50° à +50° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

- 17 coupes circulaires orientées à partir de 18.0 m de profondeur.
  Inclinaisons de -40° à +40° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

- 18 coupes circulaires orientées à partir de 23.0 m de profondeur.
  Inclinaisons de -30° à +55° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

- 19 coupes circulaires orientées à partir de 27.0 m de profondeur.
  Inclinaisons de -25° à +55° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

- 1 vidéo de la cavité.

- 1 panorama photo de la cavité.

IV. MESURES PRÉCÉDENTES

Néant

V. PRESENTATION

- 1 Courbe d'épalement du volume total cumulé en fonction de la profondeur, au 1/200ème.
- 1 Courbe de répartition des volumes par tranches de 1 m de profondeur, au 1/200ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes verticales au 1/250ème.
- 1 Courbe des rayons moyens en fonction de la profondeur, au 1/250ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes horizontales, au 1/500ème.
- 1 Planche présentant l'extension latérale maximale de la cavité, au 1/500ème.
- 1 Vue de dessus de la cavité, au 1/500ème.
- 1 Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité, avec un pas de 1 m (1 planche).
- 18 Coupes verticales avec un pas de 10° en azimut, au 1/250ème.
- 26 Coupes horizontales avec un pas de 1 m en profondeur, au 1/500ème.
- 4 Projections de vues tridimensionnelles de la cavité à partir du Nord, de l'Est, du Sud et de l'Ouest, en surplomb de 10°.
- Un CD-Rom incluant les fichiers électroniques standard.

VI. COMMENTAIRES

- 88 coupes ont été réalisées pour ausculter la cavité, soit plus de 15 000 points d'acquisition.
- Le volume obtenu après interprétation est d'environ 3 361 m^3.
- Toutes les sections ont été orientées par rapport au Nord magnétique grâce à la boussole intégrée dans la sonde laser.
- La galerie présente un départ en direction du Sud-Est avec des tirs à environ 30 mètres dans cette direction.
- La mesure a été rendue particulièrement difficile par les conditions d'accès au puits ainsi que par la grande proximité de la sonde de la paroi.

FLODIM
Challenging the limits

ÉCHOMÉTRIE SONAR

CLIENT	**BRGM**
SITE	**ALLASSAC**
CAVITÉ	**LE BOIS DU ROI**
DATE	**21/07/2015**
N° DE RELEVÉ	**1**
N° DE RAPPORT	**15-3069**
RÉDACTEUR	**Isabelle TEZENAS**
RELECTEUR	**Timothée de BENOIST**

Technoparc des Grandes Terres
310, rue des Rizières
04100 Manosque
FRANCE
Tel: +33 (0)4 92 71 15 93

Fax: +33 (0)4 92 71 16 01
www.flodim.com
contact@flodim.fr
R.C.S. Manosque B 399286020
SIRET 399 286 020 000 74

I. DÉROULEMENT DE L'ÉCHOMÉTRIE SONAR

Mardi 22/07/2015

16 :49 Montage de la sonde sonar n°24.

16 :50 Tests en surface de la communication.

16 :51 Tests mécaniques d'inclinaison et de rotation de la tête sonar.

16 :53 Calage au Nord magnétique du gyroscope d'orientation.

16 :55 Zéro profondeur en surface.

16 :57 Début de la descente de la sonde sonar dans le puits du bois du roi.

17 :00 Détermination de la profondeur du fond de la cavité dans l'axe de la sonde à 14.85 m.

17 :50 Début du fichier *boisduroi_0715_03.brt*: coupes horizontales orientées : 13.5 m, 13.7 m, 14.0 m, 14.2 m et 14.5 m.

18 :20 Fin de l'acquisition. Validation des mesures.
Début de la remontée de la sonde sonar.

18 :30 Fin de la remontée.

18 :35 Démontage de la sonde sonar et des équipements.

18 :40 Départ de l'unité de la plate-forme du puits de la cavité du bois du roi.

18 :43 Départ de l'unité FLODIM du site d'ALLASSAC.

II. CARACTÉRISTIQUES DU RELEVÉ SONAR

Hauteur de la cavité dans l'axe du puits	environ 1.0 m
Volume sonar reconnu de la cavité	30.7 m^3
Profondeur du point le plus haut mesuré de la cavité	13.5 m
Profondeur du point le plus bas mesuré de la cavité	14.5 m
Profondeur du point le plus bas de la cavité dans l'axe de la sonde	14.5 m
Référence de la profondeur	sol
Diamètre maximum mesuré lors de l'opération (à la profondeur de 13.6 m, dans l'azimut 158° - 318°)	8.25 m
Célérité des ondes ultrasonores dans eau	~1500 m/s
Nombre de coupes horizontales (180 tirs de pas 2°) acquises	5
Nombre de coupes inclinées (180 tirs de pas 2°) acquises	0
Nombre de points de mesure complémentaires (description fond)	1
Pression en tête de puits	0 bar
Coordonnées Lambert II du puits	X = xxxxxx.xx Y = xxxxxx.xx Z = xxx.xx m
Équipements FLODIM	Unité mobile 6 Sonde sonar 24

III. LISTE DES ENREGISTREMENTS EFFECTUÉS

- 5 coupes circulaires horizontales à 13.5 m, 13.7m, 14.0 m, 14.2 m et 14.5 m de profondeur.
- 1 point de mesure complémentaire de détermination de profondeur du fond de la cavité.

IV. PRÉSENTATION

- 1 Courbe d'épalement du volume total cumulé en fonction de la profondeur, au 1/10ème.
- 1 Courbe de répartition des volumes par tranches de 0.2 m de profondeur, au 1/10ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes verticales au 1/100ème.
- 1 Courbe des rayons moyens en fonction de la profondeur, au 1/100ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes horizontales, au 1/100ème.
- 1 Planche présentant l'extension latérale maximale de la cavité, au 1/100ème.
- 1 Vue de dessus de la cavité, au 1/100ème.
- 1 Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité, avec un pas de 0.2 m (1 planche).
- 18 Coupes verticales avec un pas de 10° en azimut, au 1/100ème.
- 5 Coupes horizontales avec un pas de 0.2 m en profondeur, au 1/100ème.
- 4 Projections de vues tridimensionnelles de la cavité à partir du Nord, de l'Est, du Sud et de l'Ouest, en surplomb de 10°.

V. INTERPRÉTATION

L'interprétation est réalisée lors de deux étapes distinctes:
- lors de la sélection des échos les plus significatifs à partir de chaque tir enregistré,
- lors de la création de 18 coupes verticales avec un pas de 10° en azimut.

Dans le cas particulier des cavités du BRGM, qui peuvent avoir des extensions latérales fort importantes, les coupes inclinées ont une importance tout à fait particulière, car :
- le tubage plonge souvent dans la cavité,
- beaucoup d'entre elles permettent des angles d'attaque sur la paroi plus importants que les coupes horizontales, ce qui les rend essentielles pour la fabrication du toit et du fond et même pour valider les coupes horizontales.

La sonde sonar est développée pour travailler sur des distances comprises entre 20 cm et jusqu'à 200 m, avec un faible cône d'émission (2.5° d'angle solide). Cependant, lorsque les distances sont importantes ou avec un angle d'incidence faible – inférieur à 10° – sur les parois, la zone d'irradiation sonar est généralement de grande extension et la détermination des points peut être délicate.

VI. COMMENTAIRES

- La cavité étant tubée jusqu' au fond, 5 coupes horizontales seulement ont pu être réalisées à travers le tubage pour ausculter la cavité Le bois du roi.

- Le volume obtenu après interprétation est d'environ 30 m^3.

- Toutes les sections ont été orientées par rapport au Nord magnétique grâce à la boussole et au gyroscope fibre optique (pour les coupes réalisées à travers le(s) tube(s)) intégrés dans la sonde sonar.

FLODIM

Challenging the limits

ÉCHOMÉTRIE SONAR

CLIENT	**BRGM**
SITE	**Allassac**
CAVITÉ	**S5**
DATE	**23/07/2015**
N° DE RELEVÉ	**1**
N° DE RAPPORT	**15-3070**
RÉDACTEUR	**Isabelle TEZENAS**
RELECTEUR	**Timothée DE BENOIST**

FLODIM FRANCE
Technoparc des Grandes Terres
110, rue des Rizières
04100 Manosque
FRANCE

Tel : +33 (0)4 92 71 15 93
Fax : +33 (0)4 92 71 16 01
www.flodim.com / contact@flodim.fr
R.C.S. Manosque B 399286020
SIRET 399 286 020 000 74

I. DÉROULEMENT DE L'ÉCHOMÉTRIE SONAR

Jour 23/07/2015

09:00 Arrivée de l'unité FLODIM sur le site de Allassac.

09:06 Arrivée sur la plate-forme du puits de la cavité S5.
Mise en place de l'unité. Montage des équipements explorer et mesures explorer jusqu'à 9h51. Voir rapport : report_explorer_S5_23072015.docx

10:25 Montage de la sonde sonar n°24.

10:26 Tests en surface de la communication.

10:27 Tests mécaniques d'inclinaison et de rotation de la tête sonar.

10:27 Calage au Nord magnétique du gyroscope d'orientation.

10:50 Zéro profondeur en surface.

10:59 Début de la descente de la sonde sonar dans le puits S5.

11:00 Détermination de la profondeur du fond de la cavité dans l'axe de la sonde à 13.35 m.

11:09 Début du fichier *S5_2307_01.brt* continue avec le fichier *S5_2307_02.brt* : coupes horizontales orientées 11.30 m, 11.50m, 11.80m, 12.0m et 12.5m de profondeur.

11:20 Fin de l'acquisition. Validation des mesures.
Début de la remontée de la sonde sonar.

11:22 Fin de la remontée.

11:30 Démontage de la sonde sonar et des équipements.

11:51 Départ de l'unité de la plate-forme du puits de la cavité S5.

II. CARACTÉRISTIQUES DU RELEVÉ SONAR

Hauteur de la cavité dans l'axe du puits	environ 0.7 m
Volume sonar reconnu de la cavité	113 m^3
Profondeur du point le plus haut mesuré de la cavité	11.8 m
Profondeur du point le plus haut de la cavité dans l'axe de la sonde	11.8 m
Profondeur du point le plus bas mesuré de la cavité	12.5 m
Profondeur du point le plus bas de la cavité dans l'axe de la sonde	12.5 m
Référence de la profondeur en surface	sol
Référence de la profondeur de la mesure	sol
Diamètre maximum mesuré lors de l'opération (à la profondeur de 12.0 m, dans l'azimut 130° - 310°)	24.7 m
Célérité des ondes ultrasonores dans eau	1500 m/s
Nombre de coupes horizontales (180 tirs de pas 2°) acquises	3
Nombre de coupes inclinées (180 tirs de pas 2°) acquises	0
Nombre de points de mesure complémentaires (fond)	1
Pression en tête de puits	0 bar
Coordonnées Lambert II du puits	X = xxxxxx.xx Y = xxxxxx.xx Z = xxx.xx m
Équipements FLODIM	Unité mobile 24 Sonde sonar 6

III. LISTE DES ENREGISTREMENTS EFFECTUÉS

- 5 coupes circulaires horizontales orientées à 11.30 m, 11.50m, 11.80m, 12.0m et 12.5m de profondeur.
- 1 point de mesure complémentaire de détermination de profondeur du fond de la cavité.

IV. PRÉSENTATION

- 1 Courbe d'épalement du volume total cumulé en fonction de la profondeur, au 1/20ème.
- 1 Courbe de répartition des volumes par tranches de 0.2 m de profondeur, au 1/20ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes verticales au 1/200ème.
- 1 Courbe des rayons moyens en fonction de la profondeur, au 1/200ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes horizontales, au 1/250ème.
- 1 Planche présentant l'extension latérale maximale de la cavité, au 1/250ème.
- 1 Vue de dessus de la cavité, au 1/250ème.
- 1 Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité, avec un pas de 0.2 m (1 planche).
- 18 Coupes verticales avec un pas de 10° en azimut, au 1/200ème.
- 4 Coupes horizontales avec un pas de 0.2 m en profondeur, au 1/250ème.
- 4 Projections de vues tridimensionnelles de la cavité à partir du Nord, de l'Est, du Sud et de l'Ouest, en surplomb de 10°.
- 1 CD-Rom incluant les fichiers électroniques standard.

V. INTERPRÉTATION

L'interprétation est réalisée lors de deux étapes distinctes:
- lors de la sélection des échos les plus significatifs à partir de chaque tir enregistré,
- lors de la création de 18 coupes verticales avec un pas de 10° en azimut.

Dans le cas particulier des cavités du BRGM, qui peuvent avoir des extensions latérales fort importantes, les coupes inclinées ont une importance tout à fait particulière, car :
- le tubage plonge souvent dans la cavité,
- beaucoup d'entre elles permettent des angles d'attaque sur la paroi plus importants que les coupes horizontales, ce qui les rend essentielles pour la fabrication du toit et du fond et même pour valider les coupes horizontales.

La sonde sonar est développée pour travailler sur des distances comprises entre 20 cm et jusqu'à 200 m, avec un faible cône d'émission (2.5° d'angle solide). Cependant, lorsque les distances sont importantes ou avec un angle d'incidence faible – inférieur à 10° – sur les parois, la zone d'irradiation sonar est généralement de grande extension et la détermination des points peut être délicate.

VI. COMMENTAIRES

- La cavité étant tubée jusqu'au fond du puits, 3 coupes horizontales seulement ont pu être réalisées à travers le tubage pour ausculter la cavité S5.

- Le volume obtenu après interprétation est d'environ 113 m^3.

- Une descente de l'explorer (température, super-CCL, gamma-Ray et inclinaison) a été réalisée avant la mesure sonar (rapport n°15-4147).

- Toutes les sections ont été orientées par rapport au Nord magnétique grâce à la boussole et au gyroscope fibre optique (pour les coupes réalisées à travers le(s) tube(s)) intégrés dans la sonde sonar.

FLODIM
Challenging the limits

ÉCHOMÉTRIE SONAR

CLIENT	**BRGM**
SITE	**ALLASSAC**
CAVITÉ	**SAILLANT**
DATE	**21/07/2015**
N° DE RELEVÉ	**1**
N° DE RAPPORT	**15-3068**
RÉDACTEUR	**Olivier NITSCH**
RELECTEUR	**Timothée DE BENOIST**

Technoparc des Grandes Terres
310, rue des Rizières
04100 Manosque
FRANCE
Tel: +33 (0)4 92 71 15 93

Fax: +33 (0)4 92 71 16 01
www.flodim.com
contact@flodim.fr
R.C.S. Manosque B 399286020
SIRET 399 286 020 000 74

I. DÉROULEMENT DE L'ÉCHOMÉTRIE SONAR

Mardi 22/07/2015

10 :20 Montage de la sonde sonar n°24.

10 :22 Tests en surface de la communication.

10 :23 Tests mécaniques d'inclinaison et de rotation de la tête sonar.

10 :24 Calage au Nord magnétique du gyroscope d'orientation.

10 :28 **Zéro profondeur en surface au niveau de la dalle béton**.

10 :30 Début de la descente de la sonde sonar dans le puits saillant.

10 :40 Détermination de la profondeur du fond de la cavité dans l'axe de la sonde à 33.32 m.

10 :42 Début du fichier *saillant_21072015_01.brt* : coupes horizontales orientées entre 30.5 et 24.5 m de profondeur (pas de 0.5 m).

11 :10 **Problème de connection avec la sonde.**

13 :10 Début du fichier *saillant_21072015_03.brt* : coupes orientées, inclinées vers le bas, depuis une profondeur de 29.0 m, d'inclinaisons -85° à -5° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

.

13 :30 Début du fichier *saillant_21072015_04.brt* : coupes orientées, inclinées vers le haut, depuis une profondeur de 29.0 m, d'inclinaisons 5° à 89° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

14 :00 Début du fichier *saillant_21072015_05.brt* : coupes horizontales orientées entre 32.5 et 31.0 m de profondeur (pas de 0.5 m).

14 :30 Fin de l'acquisition. Validation des mesures.
Début de la remontée de la sonde sonar.

14 :40 Fin de la remontée.

14 :50 Démontage de la sonde sonar et des équipements.

15 :00 Départ de l'unité de la plate-forme du puits de la cavité Saillant.

15 :15 Départ de l'unité FLODIM du site d'ALLASSAC.

II. CARACTÉRISTIQUES DU RELEVÉ SONAR

Hauteur de la cavité dans l'axe du puits		environ 9.3 m
Volume sonar reconnu de la cavité		3 935 m^3
Profondeur du point le plus haut mesuré de la cavité		22.1 m
Profondeur du point le plus bas mesuré de la cavité		35.4 m
Profondeur du point le plus bas de la cavité dans l'axe de la sonde		33.4 m
Référence de la profondeur		sol : 0 m
Diamètre maximum mesuré lors de l'opération (à la profondeur de 25 m, dans l'azimut 160° - 340°)		30.3 m
Célérité des ondes ultrasonores dans eau		1500 m/s
Nombre de coupes horizontales (180 tirs de pas 2°) acquises		17
Nombre de coupes inclinées (180 tirs de pas 2°) acquises		38
Nombre de points de mesure complémentaires (fond)		1
Équipements FLODIM	Unité mobile 6	Sonde sonar 24

III. LISTE DES ENREGISTREMENTS EFFECTUÉS

- 17 coupes circulaires horizontales orientées entre 24.5 m et 32.5 m de profondeur, avec un pas de 0.5 m.

- 19 coupes circulaires orientées, inclinées vers le bas à partir de 29 m de profondeur, pour la caractérisation du fond de la cavité.
  Inclinaisons de -85° à -5° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

- 19 coupes circulaires orientées, inclinées vers le haut à partir de 29 m de profondeur, pour la caractérisation du toit de la cavité.
  Inclinaisons de 5 à 89° (pas de 5°) par rapport à l'horizontale.

- 1 point de mesure complémentaire de détermination de profondeur du fond de la cavité.

IV. PRÉSENTATION

- 1 Courbe d'épalement du volume total cumulé en fonction de la profondeur, au 1/100ème.
- 1 Courbe de répartition des volumes par tranches de 0.5 m de profondeur, au 1/100ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes verticales au 1/200ème.
- 1 Courbe des rayons moyens en fonction de la profondeur, au 1/200ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes horizontales, au 1/250ème.
- 1 Planche présentant l'extension latérale maximale de la cavité, au 1/250ème.
- 1 Vue de dessus de la cavité, au 1/250ème.
- 1 Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité, avec un pas de 0.5 m (1 planches).
- 18 Coupes verticales avec un pas de 10° en azimut, au 1/200ème.
- 26 Coupes horizontales avec un pas de 0.5 m en profondeur, au 1/250ème.
- 4 Projections de vues tridimensionnelles de la cavité à partir du Nord, de l'Est, du Sud et de l'Ouest, en surplomb de 10°.
- Un CD-Rom incluant les fichiers électroniques standard.

V. INTERPRÉTATION

L'interprétation est réalisée lors de deux étapes distinctes:
- lors de la sélection des échos les plus significatifs à partir de chaque tir enregistré,
- lors de la création de 180 coupes verticales avec un pas de 2° en azimut.

Dans le cas particulier des cavités BRGM, qui peuvent avoir des extensions latérales fort importantes, les coupes inclinées ont une importance tout à fait particulière, car :
- beaucoup d'entre elles permettent des angles d'attaque sur la paroi plus importants que les coupes horizontales, ce qui les rend essentielles pour la fabrication du toit et du fond et même pour valider les coupes horizontales.

La sonde sonar est développée pour travailler sur des distances comprises entre 20 cm et jusqu'à 200 m, avec un faible cône d'émission (2.5° d'angle solide). Cependant, lorsque les distances sont importantes ou avec un angle d'incidence faible – inférieur à 10° – sur les parois, la zone d'irradiation sonar est généralement de grande extension et la détermination des points peut être délicate.

VI. COMMENTAIRES

- 55 coupes ont été réalisées pour ausculter la cavité de saillant, soit près de 11 800 points d'acquisition.

- Le volume obtenu après interprétation est d'environ 3935 m^3.

- La mesure a été calée en profondeur à partir du sol.

- Toutes les sections ont été orientées par rapport au Nord magnétique grâce à la boussole et au gyroscope fibre optique (pour les coupes réalisées à travers le(s) tube(s)) inclus dans la sonde sonar.

FLODIM

Challenging the limits

ÉCHOMÉTRIE SONAR

CLIENT	**BRGM LIMOUSIN**
SITE	**ALLASSAC**
CAVITÉ	**M**
DATE	**27/02/2014**
N° DE RELEVÉ	**1**
N° DE RAPPORT	**14-3018**
RÉDACTEUR	**Coline MOLLARET**
RELECTEUR	**Martin POURRIERE**

FLODIM SARL
L'AGORA - Lot E5B
Chemin Champs de Pruniers
04100 - Manosque - FRANCE

www.flodim.com
Tel: +33 4 92 71 15 93
Fax: +33 4 92 71 16 01
contact@flodim.fr

FLODIM SARL
L'AGORA - Lot E5B
Chemin Champs de Pruniers
04100 - Manosque - FRANCE

I. DÉROULEMENT DE L'ÉCHOMÉTRIE SONAR

Jeudi 27/02/2014

10:20 Montage de la sonde sonar n°24.

11:05 Tests en surface de la communication.

11:10 Tests mécaniques d'inclinaison et de rotation de la tête sonar.

11:55 Zéro profondeur en surface (référence route).
Calage du gyroscope au nord en surface.

11:56 Début de la descente de la sonde sonar dans le puits M.

12:00 Début du fichier M_270214_2.*brt* : coupes horizontales orientées entre 24 et 11 m de profondeur (pas de 0.5 m).

13:00 Début du fichier *M_270214_3.brt* : coupes orientées, inclinées vers le bas, depuis une profondeur de 20.50 m, d'inclinaisons -3 ° à -89° (pas de 3°) par rapport à l'horizontale.

14:13 Début du fichier *M_27022014_4.brt* : coupes orientées, inclinées vers le haut, depuis une profondeur de 20 m, d'inclinaisons 10° à 66° (pas de 3°) par rapport à l'horizontale.

15:20 Fin de l'acquisition. Validation des mesures.
Début de la remontée de la sonde sonar.

15:23 Fin de la remontée. Démontage de la sonde sonar et des équipements.

16:15 Départ de l'unité de la plate-forme du puits de la cavité M.

16:30 Départ de l'unité Flodim du site d'Allassac.

www.flodim.com
Tel: +33 4 92 71 15 93
Fax: +33 4 92 71 16 01
contact@flodim.fr

FLODIM SARL
L'AGORA - Lot E5B
Chemin Champs de Pruniers
04100 - Manosque - FRANCE

II. CARACTÉRISTIQUE DU RELEVÉ SONAR

Hauteur de la cavité dans l'axe du puits		environ 18.5 m
Volume sonar reconnu de la cavité		6273 m^3
Profondeur du point le plus haut mesuré de la cavité		6.4 m
Profondeur du point le plus bas mesuré de la cavité		54.2 m
Profondeur du point le plus bas de la cavité dans l'axe de la sonde		24.9 m
Référence de la profondeur		route
Diamètre maximum mesuré lors de l'opération (à la profondeur de 21.5 m, dans l'azimut 140° - 320°)		42.3 m
Célérité des ondes ultrasonores dans l'eau.		1452 m/s
Nombre de coupes horizontales (180 tirs de pas 2°) acquises		27
Nombre de coupes inclinées (180 tirs de pas 2°) acquises		47
Équipements Flodim	Unité mobile 3	Sonde sonar 24

www.flodim.com
Tel: +33 4 92 71 15 93
Fax: +33 4 92 71 16 01
contact@flodim.fr

FLODIM SARL
L'AGORA - Lot E5B
Chemin Champs de Pruniers
04100 - Manosque - FRANCE

III. LISTE DES ENREGISTREMENTS EFFECTUÉS

- 27 coupes circulaires horizontales orientées entre 24 m et 11 m de profondeur, avec un pas de 0.5 m.

- 27 coupes circulaires orientées, inclinées vers le bas à partir de 20.5 m de profondeur, pour la caractérisation du toit de la cavité.
  Inclinaisons de 10° à 89°, avec un pas de 3 degrés, par rapport à l'horizontale.

- 20 coupes circulaires orientées, inclinées vers le haut à partir de 20.50 m de profondeur, pour la caractérisation d'une oreille de la cavité.
  Inclinaisons de 10° à 66°, avec un pas de 3 degrés, par rapport à l'horizontale.

IV. MESURES PRÉCÉDENTES

Néant.

www.flodim.com
Tel: +33 4 92 71 15 93
Fax: +33 4 92 71 16 01
contact@flodim.fr

FLODIM SARL
L'AGORA - Lot E5B
Chemin Champs de Pruniers
04100 - Manosque - FRANCE

V. PRÉSENTATION

- 1 Courbe d'épalement du volume total cumulé en fonction de la profondeur, au 1/500ème.
- 1 Courbe de répartition des volumes par tranches de 0.5 m de profondeur, au 1/500ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes verticales au 1/500ème.
- 1 Courbe des rayons moyens en fonction de la profondeur, au 1/500ème.
- 1 Planche présentant la superposition des coupes horizontales, au 1/250ème.
- 1 Planche présentant l'extension latérale maximale de la cavité, au 1/250ème.
- 1 Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité, avec un pas de 0.5 m (3 planches).
- 18 Coupes verticales avec un pas de 10° en azimut, au 1/500$^{ème.}$
- 96 Coupes horizontales avec un pas de 0.5 m en profondeur, au 1/250ème
- 4 Projections de vues tridimensionnelles de la cavité à partir du Nord, de l'Est, du Sud et de l'Ouest, en surplomb de 10°.
- 1 CD-Rom incluant les fichiers standards.

www.flodim.com
Tel: +33 4 92 71 15 93
Fax: +33 4 92 71 16 01
contact@flodim.fr

FLODIM SARL
L'AGORA - Lot E5B
Chemin Champs de Pruniers
04100 - Manosque - FRANCE

VI. INTERPRÉTATION

L'interprétation est réalisée lors de deux étapes distinctes:

- lors de la sélection des échos les plus significatifs à partir de chaque tir enregistré,
- lors de la création de 180 coupes verticales avec un pas de 2° en azimut.

L'acquisition a été réalisée à partir de coupes horizontales et inclinées comportant chacune 180 tirs de pas 2° en azimut. Pour cartographier la cavité, caractériser les formes de la paroi et en apprécier les détails, il est en effet nécessaire de mesurer de manière précise et sur un spectre continu entre 0° et 360° en azimut.

La sonde sonar est développée pour travailler sur des distances comprises entre 20 cm et jusqu'à 200 m, avec un faible cône d'émission (2.5° d'angle solide). Cependant, lorsque les distances sont importantes ou avec un angle d'incidence faible – inférieur à 10° – sur les parois, la zone d'irradiation sonar est généralement de grande extension et la détermination des points peut être délicate.

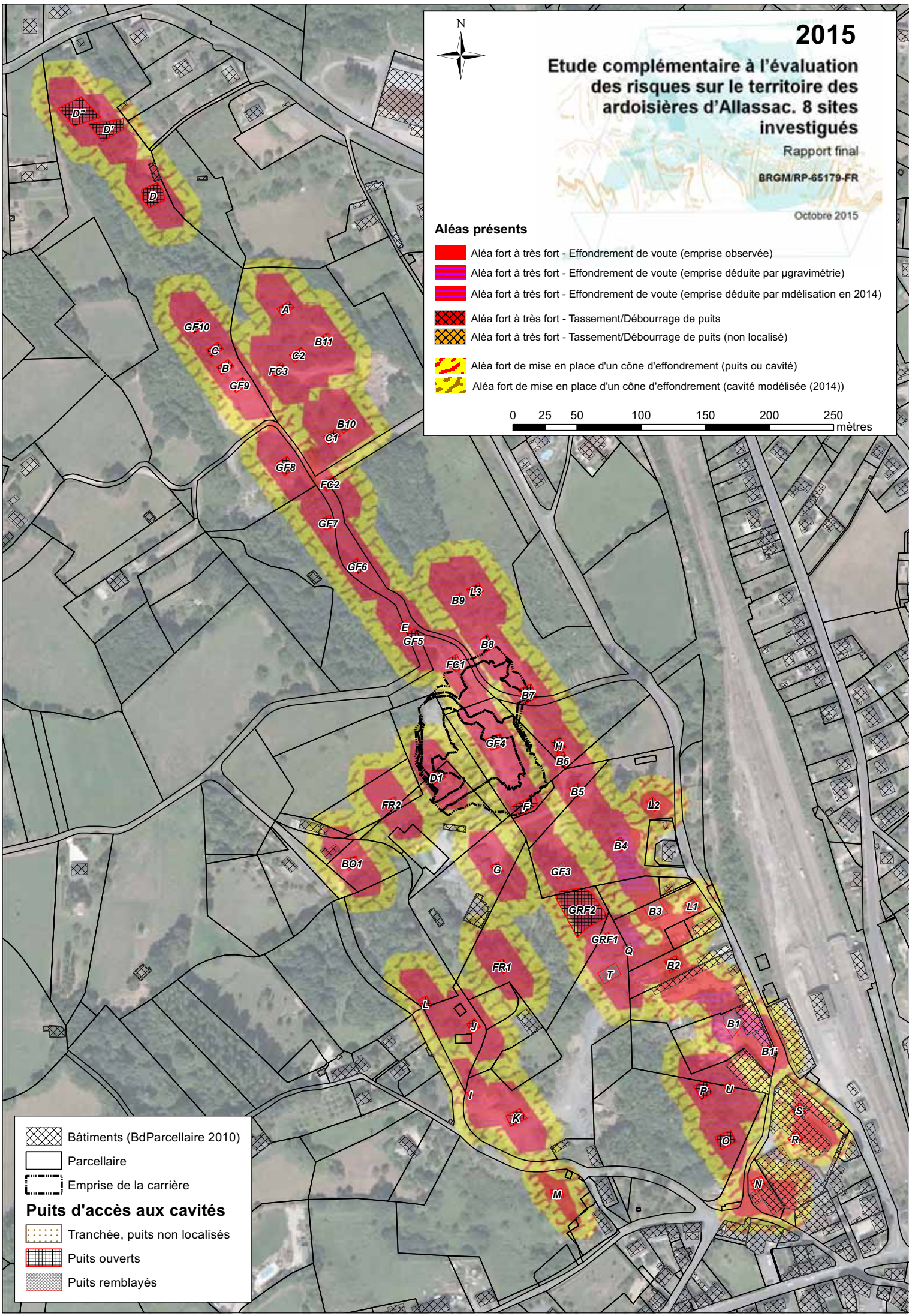
www.flodim.com
Tel: +33 4 92 71 15 93
Fax: +33 4 92 71 16 01
contact@flodim.fr

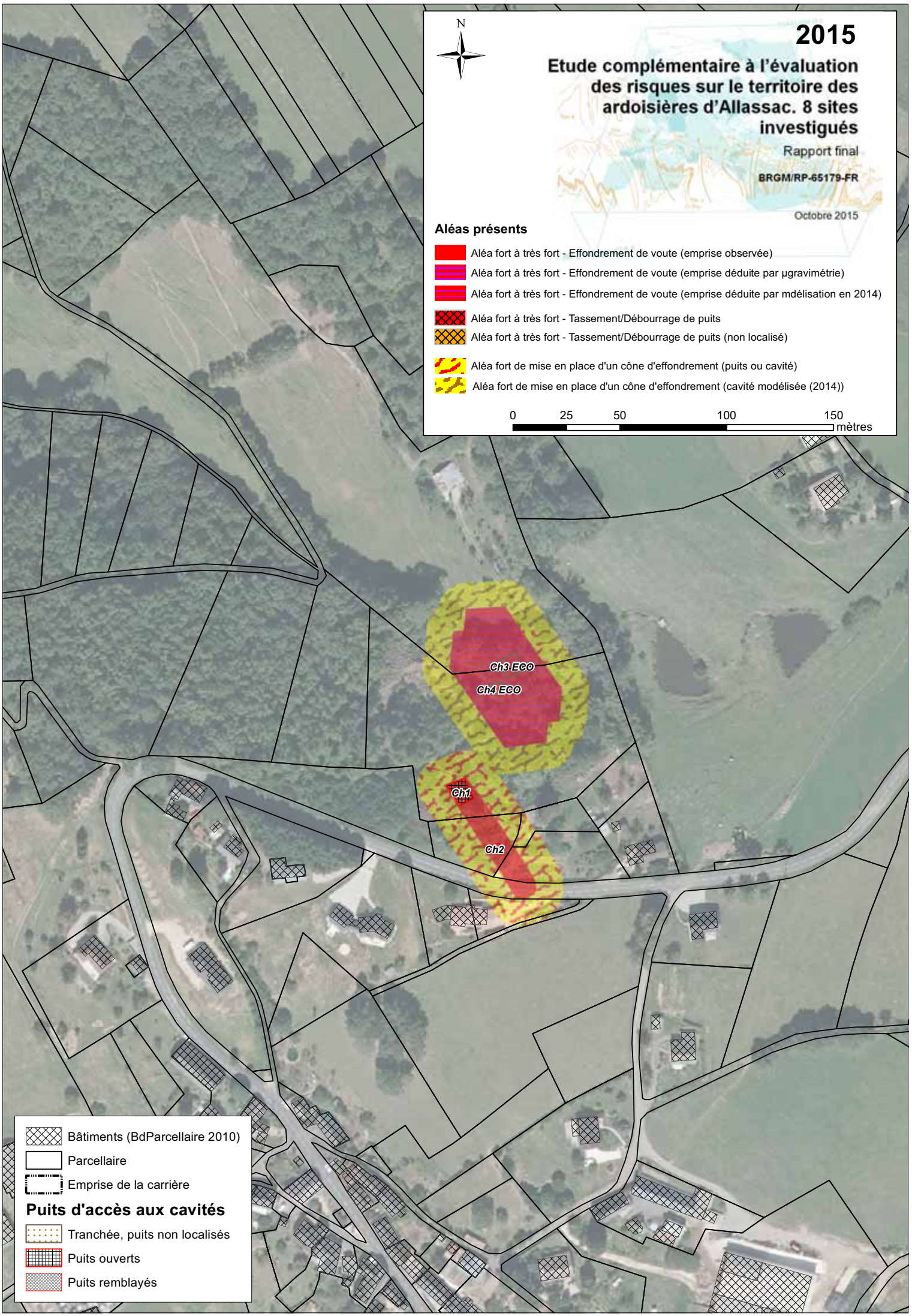
FLODIM SARL
L'AGORA - Lot E5B
Chemin Champs de Pruniers
04100 - Manosque - FRANCE

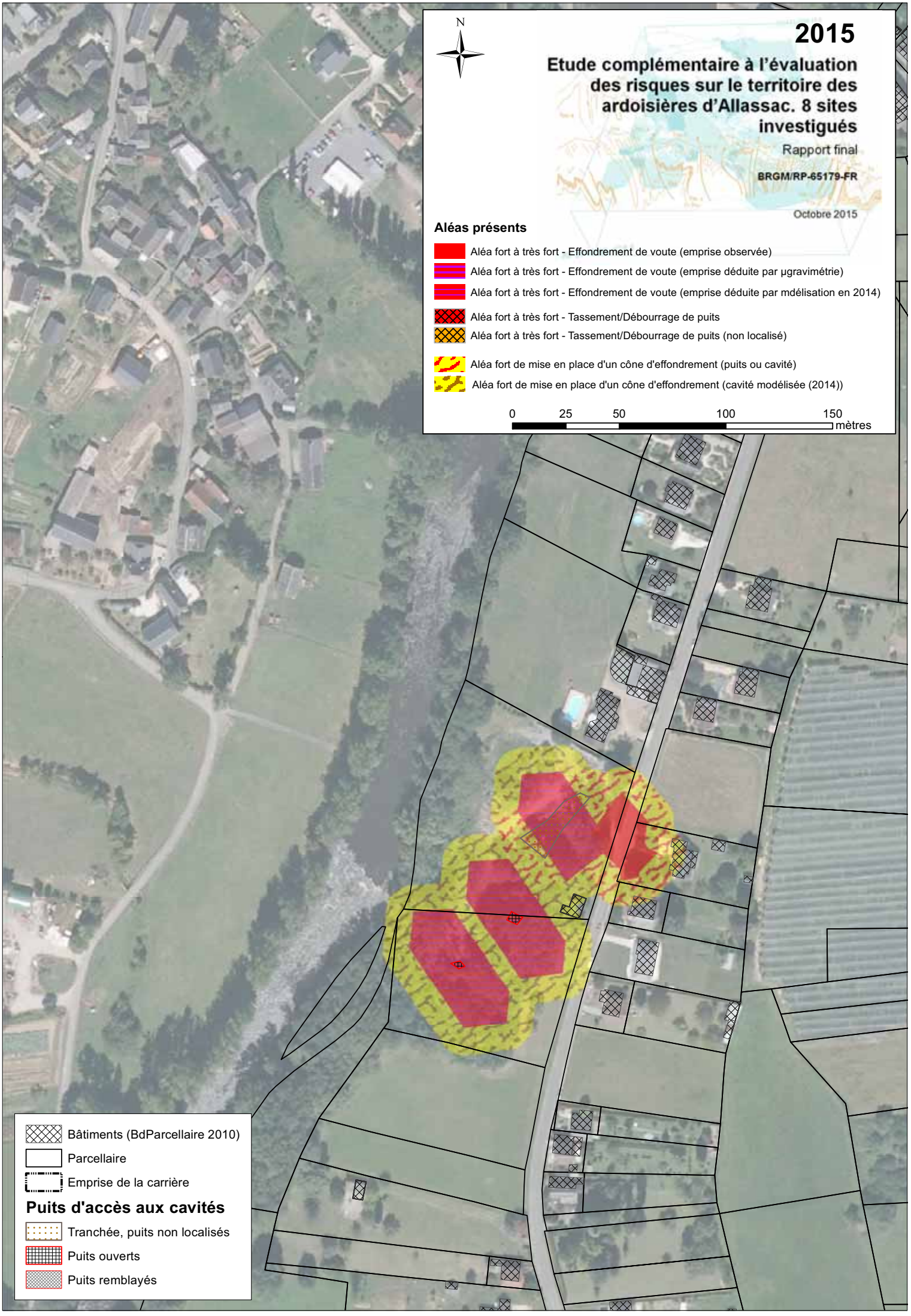
VII. COMMENTAIRES

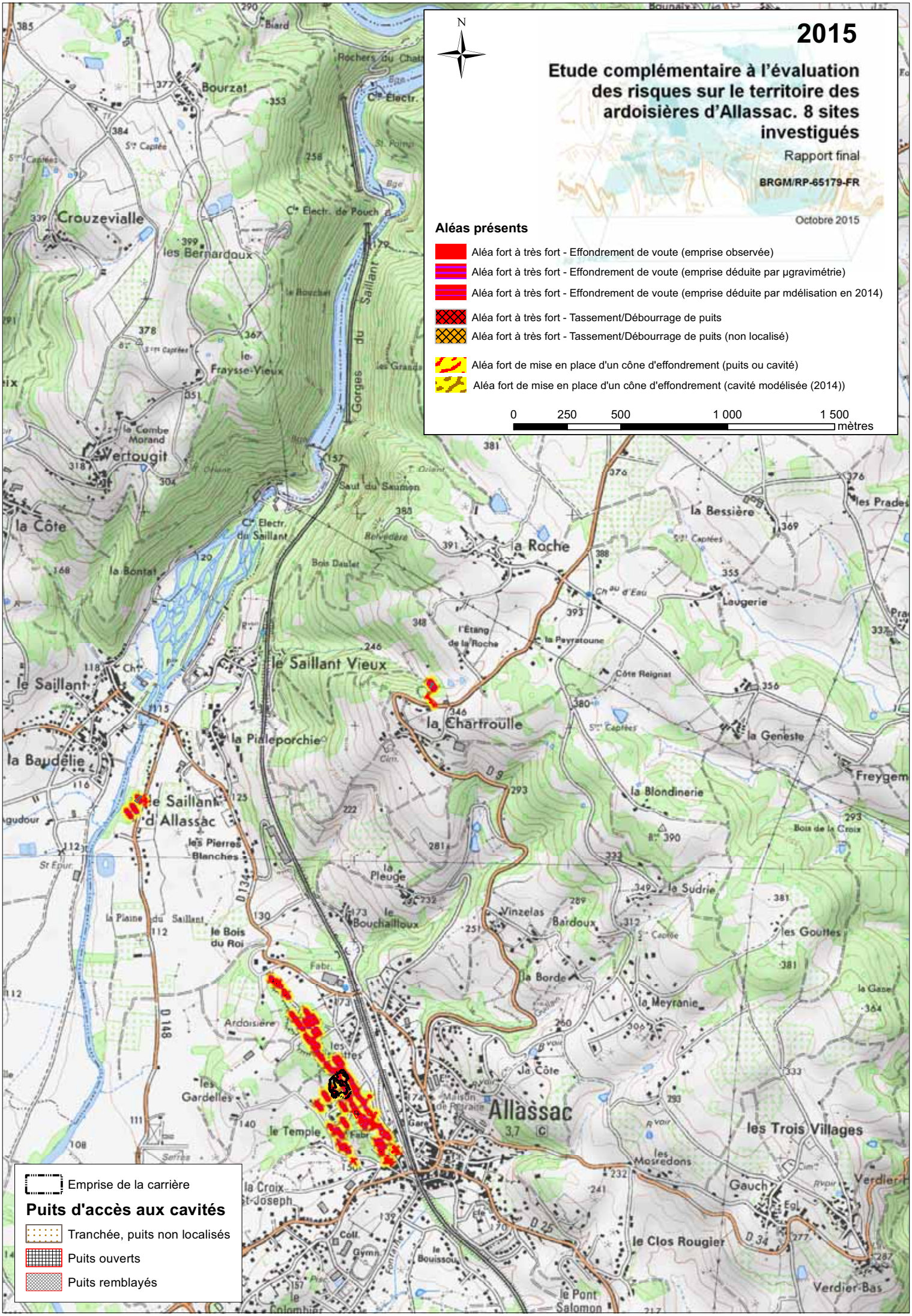
- 74 coupes ont été réalisées pour ausculter la cavité M, soit près de 13300 points d'acquisition.
- Le volume obtenu après interprétation est d'environ 6300 m^3
- La mesure a été calée en profondeur à partir de la route goudronnée.
- Toutes les sections ont été orientées par rapport au Nord magnétique grâce à la boussole et au gyroscope fibre optique

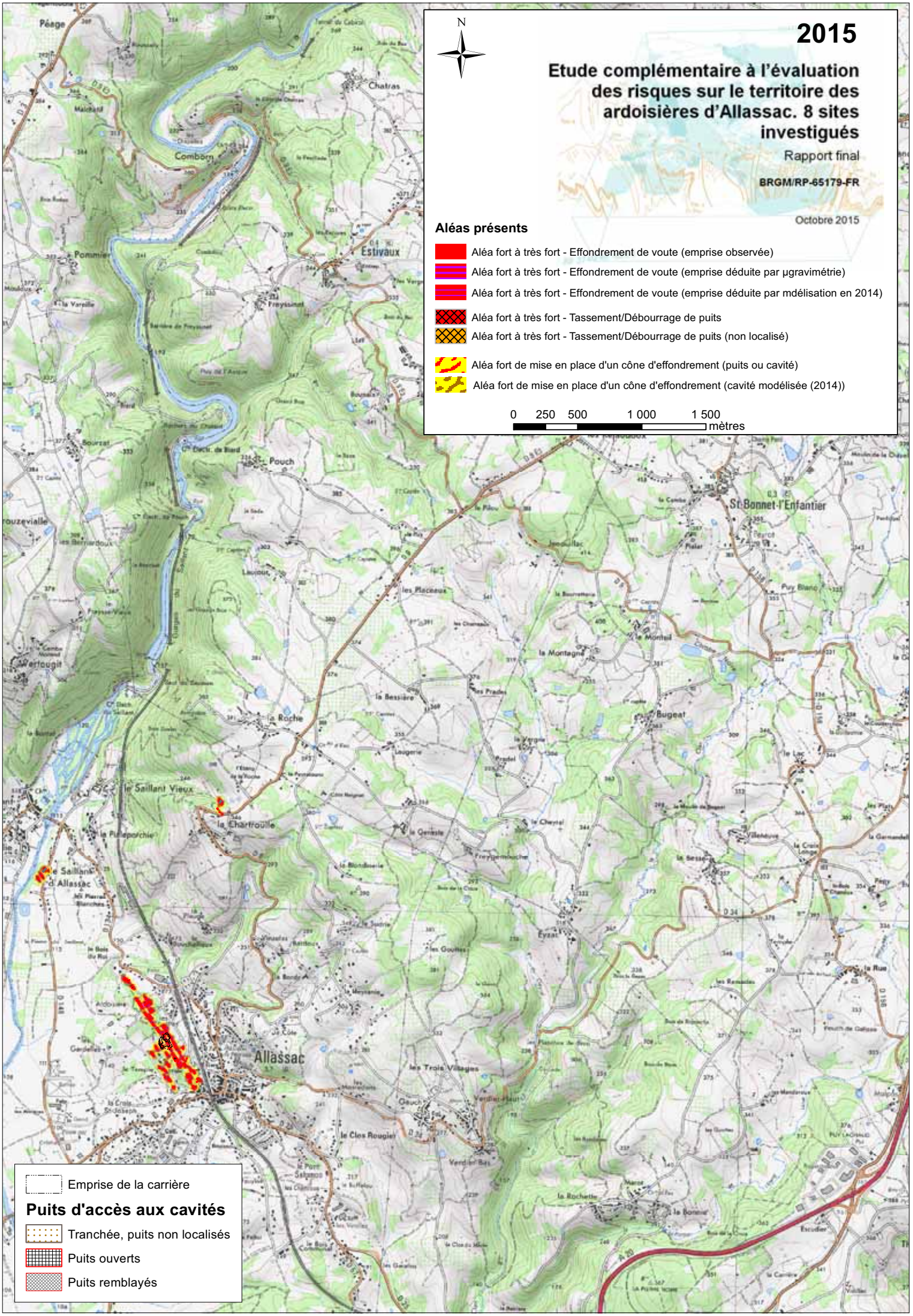
www.flodim.com
Tel: +33 4 92 71 15 93
Fax: +33 4 92 71 16 01
contact@flodim.fr

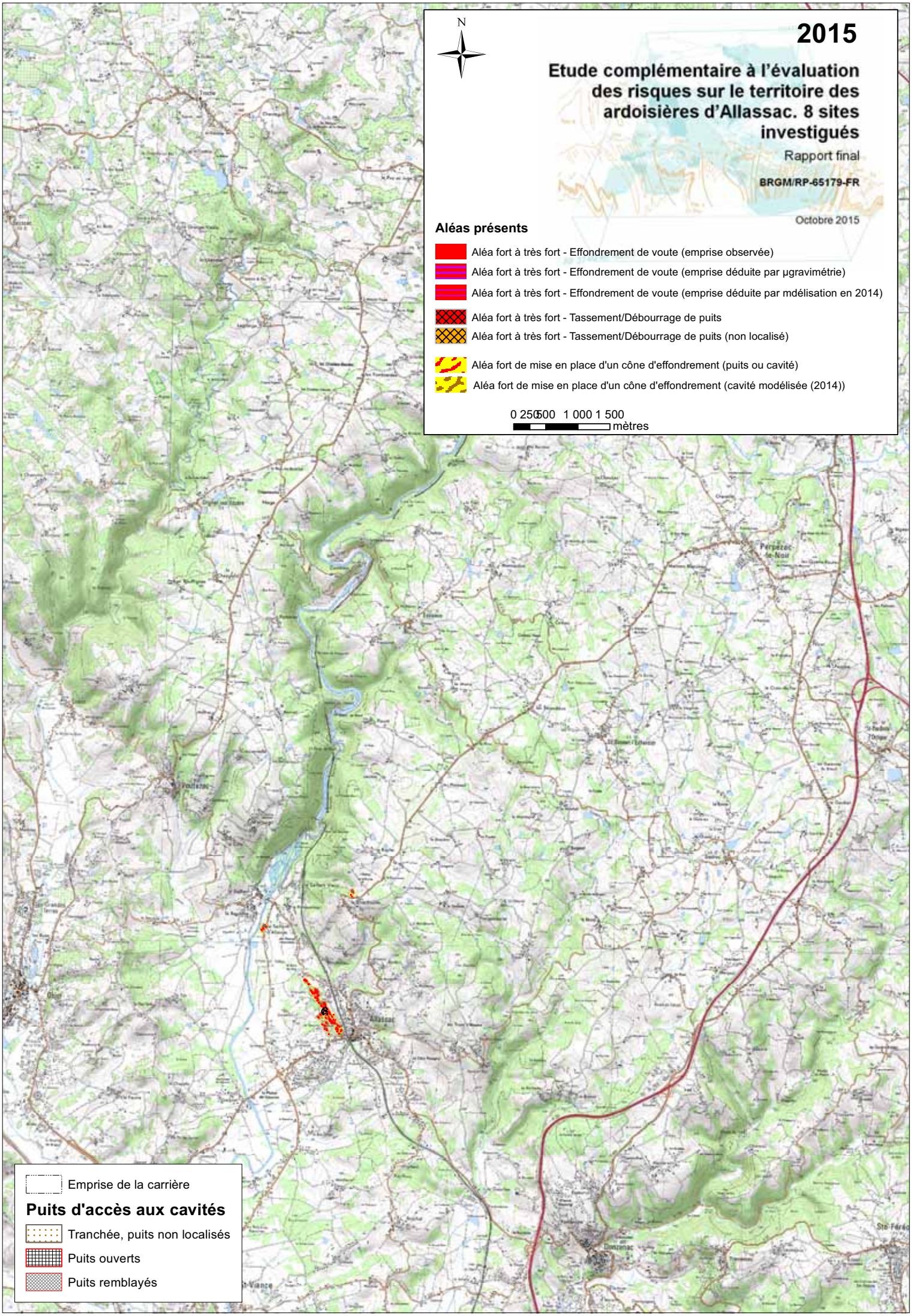

N
2015
Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués
Rapport final
BRGM/RP-65179-FR
Octobre 2015
Aléas présents
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise observée)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par µgravimétrie)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits (non localisé)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))
0 25 50 100 150 200 250
mètres
Bâtiments (BdParcellaire 2010)
Parcellaire
Emprise de la carrière
Puits d'accès aux cavités
Tranchée, puits non localisés
Puits ouverts
Puits remblayés

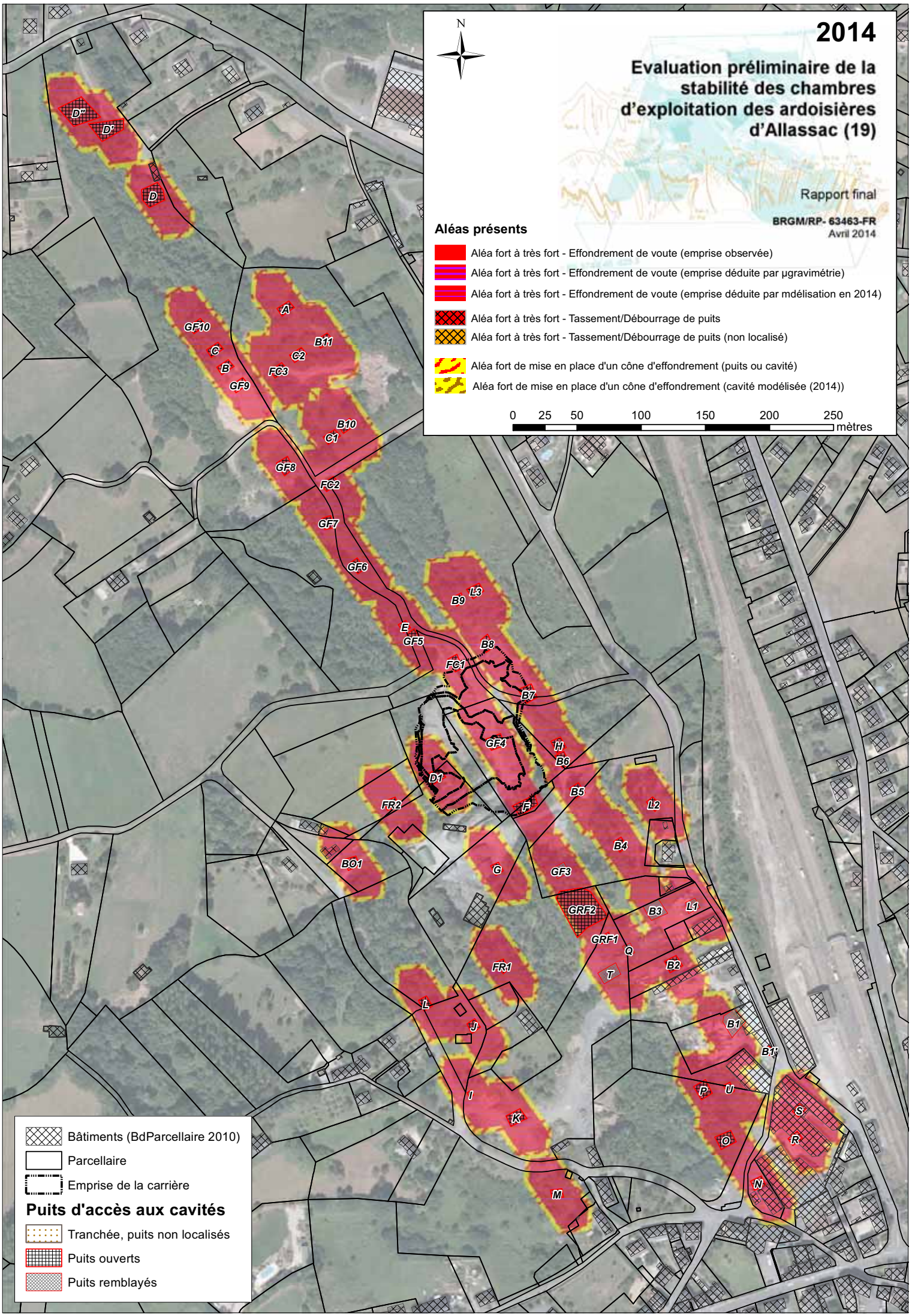

N
2015
Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués
Rapport final
BRGM/RP-65179-FR
Octobre 2015
Aléas présents
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise observée)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par µgravimétrie)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits (non localisé)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))
0 25 50 100 150
mètres
Ch3 ECO
Ch4 ECO
Ch1
Ch2
Bâtiments (BdParcellaire 2010)
Parcellaire
Emprise de la carrière
Puits d'accès aux cavités
Tranchée, puits non localisés
Puits ouverts
Puits remblayés


N
2015
Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués
Rapport final
BRGM/RP-65179-FR
Octobre 2015
Aléas présents
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise observée)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par µgravimétrie)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits (non localisé)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))
0 25 50 100 150
mètres
Bâtiments (BdParcellaire 2010)
Parcellaire
Emprise de la carrière
Puits d'accès aux cavités
Tranchée, puits non localisés
Puits ouverts
Puits remblayés


2015
Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués
Rapport final
BRGM/RP-65179-FR
Octobre 2015
N
Aléas présents
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise observée)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par µgravimétrie)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits (non localisé)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))
0 250 500 1 000 1 500 mètres
Emprise de la carrière
Puits d'accès aux cavités
Tranchée, puits non localisés
Puits ouverts
Puits remblayés
Allassac
le Saillant Vieux
la Chartroulle
la Roche
Crouzevialle
Vertougit
Bourzat
les Bernardoux
le Fraysse-Vieux
la Côte
la Bontat
le Saillant
la Baudélie
le Saillant d'Allassac
la Pialeporchie
les Pierres Blanches
le Bois du Roi
la Pleuge
le Bouchailloux
Vinzelas
Bardoux
la Sudrie
la Blondinerie
la Geneste
la Bessière
Laugerie
la Peyratoune
Côte Reignat
la Borde
la Meyranie
les Gouttes
les Trois Villages
le Clos Rougier
Verdier-Bas
Gauch
les Mosredons
le Pont Salomon
le Temple
les Gardelles
Ardoisière
la Croix St-Joseph
Gorges du Saillant
Sauf du Saumon
Bois Daulet
l'Étang de la Roche
Belvédère
Cte Electr. du Saillant
Cte Electr. de Pouch
D 148
D 134
D 9
D 25
D 34


2015
Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués
Rapport final
BRGM/RP-65179-FR
Octobre 2015
N
Aléas présents
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise observée)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par µgravimétrie)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits (non localisé)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))
0 250 500 1 000 1 500
mètres
Emprise de la carrière
Puits d'accès aux cavités
Tranchée, puits non localisés
Puits ouverts
Puits remblayés
Péage
Chatras
Comborn
Estivaux
Pommier
Freyssinet
Pouch
St-Bonnet-l'Enfantier
Bugeat
la Roche
le Saillant Vieux
la Chartrouille
le Saillant d'Allassac
Allassac
les Trois Villages
le Clos Rougier
la Rochette
la Bonnie


N
2015
Etude complémentaire à l'évaluation des risques sur le territoire des ardoisières d'Allassac. 8 sites investigués
Rapport final
BRGM/RP-65179-FR
Octobre 2015
Aléas présents
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise observée)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par µgravimétrie)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits (non localisé)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))
0 250 500 1 000 1 500
mètres
Emprise de la carrière
Puits d'accès aux cavités
Tranchée, puits non localisés
Puits ouverts
Puits remblayés


N
2014
Evaluation préliminaire de la stabilité des chambres d'exploitation des ardoisières d'Allassac (19)
Rapport final
BRGM/RP- 63463-FR
Avril 2014
Aléas présents
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise observée)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par µgravimétrie)
Aléa fort à très fort - Effondrement de voute (emprise déduite par mdélisation en 2014)
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits
Aléa fort à très fort - Tassement/Débourrage de puits (non localisé)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (puits ou cavité)
Aléa fort de mise en place d'un cône d'effondrement (cavité modélisée (2014))
0 25 50 100 150 200 250
mètres
Bâtiments (BdParcellaire 2010)
Parcellaire
Emprise de la carrière
Puits d'accès aux cavités
Tranchée, puits non localisés
Puits ouverts
Puits remblayés
D''
D'
D
A
GF10
C
B
GF9
B11
C2
FC3
B10
C1
GF8
FC2
GF7
GF6
B9
L3
E
GF5
B8
FC1
B7
GF4
H
B6
D1
B5
FR2
F
L2
B4
BO1
G
GF3
GRF2
B3
L1
GRF1
Q
B2
FR1
T
L
J
B1
B1'
I
P
U
S
K
O
R
N
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 Limousin
Ester Technopole
21 rue Columbia
87069 – Limoges Cedex 3– France
Tél. : 05 55 35 27 86