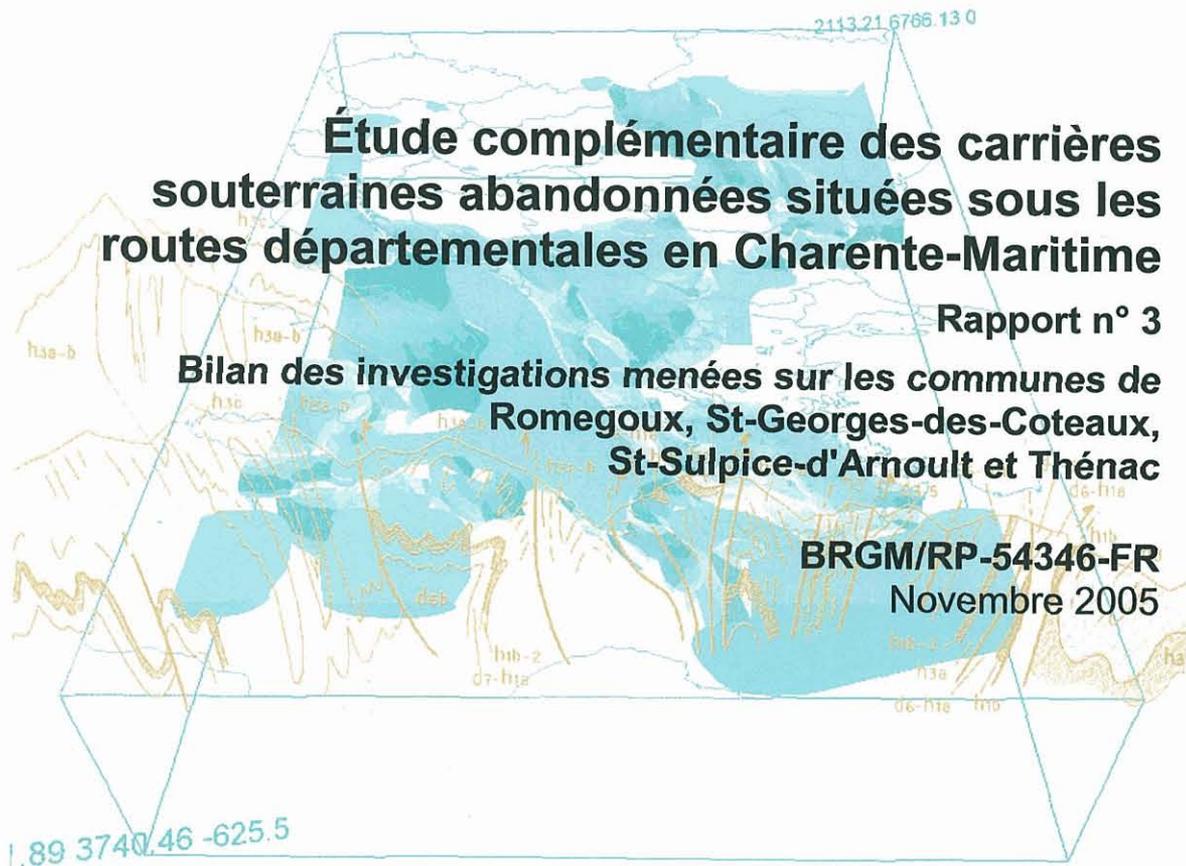


Document public



Étude complémentaire des carrières souterraines abandonnées situées sous les routes départementales en Charente-Maritime

Rapport n° 3

Bilan des investigations menées sur les communes de
Romegoux, St-Georges-des-Coteaux,
St-Sulpice-d'Arnoult et Thénac

BRGM/RP-54346-FR
Novembre 2005



Étude complémentaire des carrières souterraines abandonnées situées sous les routes départementales en Charente-Maritime

Rapport n° 3

Bilan des investigations menées sur les communes de
Romegoux, St-Georges-des-Coteaux,
St-Sulpice-d'Arnoult et Thénac

BRGM/RP-54346-FR
Novembre 2005

D. Dugrillon et C. Mathon
Avec la collaboration de
A. Bitri, N. Debeglia, O. Renault

Vérificateur :

Nom : M. Vincent

Date : 30 novembre 2005

Signature :

Approbateur :

Nom : F. Bichot

Date : 18 novembre 2005

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : Charente-Maritime, Romegoux, St-Georges-des-Coteaux, St-Sulpice-d'Arnoult, Thénac, risques naturels, carrières souterraines, Conseil Général, routes départementales.

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

Dugrillon D. et Mathon C. avec la collaboration de Bitri A., Debeglia N., Renault O. (2005) : Etude complémentaire de l'état de stabilité des carrières souterraines abandonnées situées sous les routes départementales en Charente-Maritime – Rapport n° 3 – Bilan des investigations menées sur les communes de Romegoux, St-Georges-des-Coteaux, St-Sulpice-d'Arnoult et Thénac. Rapport BRGM/RP-54346-FR, 47 p., 13 ill., 1 tab.

Synthèse

Dans le cadre de la gestion du domaine public routier départemental, le Conseil Général de la Charente-Maritime a demandé au BRGM – Service Géologique Régional Poitou-Charentes – d'effectuer des investigations complémentaires pour certaines carrières souterraines abandonnées situées dans plusieurs communes du département. Une convention en date du 25 novembre 2003 a alors été signée à cette fin entre le Conseil Général et le BRGM.

Ce programme fait suite au partenariat établi en 1998 entre le Conseil Général et le BRGM, concernant l'impact des carrières souterraines abandonnées situées sous ou à proximité des routes départementales de Charente-Maritime. Ce partenariat a notamment permis d'effectuer des levés topographiques sommaires à la boussole et au décamètre dans 17 anciennes exploitations souterraines, de définir un programme de confortement pour 2 d'entre elles et un programme d'inspection régulière (tous les 2, 3 ou 5 ans) pour les 15 restantes.

Cette nouvelle convention permet la poursuite des investigations menées depuis lors, à savoir :

- au cours des investigations complémentaires réalisées depuis 1999, de nouvelles informations ont été obtenues de la part des mairies ou des riverains, qui ont permis d'identifier trois nouvelles carrières, situées sur les communes de Vénérand et Jonzac et dont les accès étaient libres. Elles ont donc fait l'objet de relevés géométriques et de pré-diagnostic géotechniques en 2004. Les résultats de ces visites, réalisées dans le cadre de cette convention, ne seront pas détaillées dans le présent rapport car elles ont fait l'objet d'un rapport particulier remis au Conseil Général en juillet 2004 (rapport BRGM/RP-53117-FR),
- l'existence d'anciens puits ou bouches de cavages remblayés, à Thénac, Saint-Georges-des-Coteaux, Romegoux et Saint-Sulpice-d'Arnoult, à proximité de routes départementales, a conduit le Conseil Général à demander au BRGM de vérifier leur connexion avec d'éventuelles zones de vides susceptibles de s'étendre sous la voirie,
- les pré-diagnostic de stabilité établis suite aux visites de 1999 et leur position par rapport aux routes départementales des carrières dites "*Les Moulins de Saint-Georges Nord*" et "*Les Moulins de Saint-Georges Sud-Ouest*" situées sous la RD236 à Saint-Georges-des-Coteaux et pour le secteur Sud-Est de la carrière dite "*Les Mauds*" située sous la RD138 à Thénac a conduit le Conseil Général à demander au BRGM de réaliser des études détaillées de stabilité et de définir des solutions de confortement si nécessaire.

Deux méthodes géophysiques (la microgravimétrie et la SASW) ont été associées afin de lever les incertitudes sur l'éventuel passage de cavités souterraines sous les voiries départementales depuis d'anciens puits d'accès remblayés et localisés en bordure de

routes dans les communes de Thénac, St-Sulpice-d'Arnoult et Romegoux. Ces investigations, calées sur les carrières connues et visitées, situées à proximité, n'ont pas mis en évidence de départ de galeries depuis les puits remblayés vers les routes départementales pour les carrières "Les Genêts centre" à Romegoux et "Les Mauds, secteur sud" à Thénac. Toutefois, pour la carrière "Le Pas du Fief" à St-Sulpice-d'Arnoult, il serait nécessaire, afin de lever toute incertitude, d'effectuer un contrôle, à l'aide d'un ou plusieurs sondages destructifs, des anomalies mises en évidence. La présence d'une galerie à proximité de la RD18 est en effet envisageable.

En raison de l'obturation des accès aux carrières "Les Moulins de St-Georges Nord" et "Les Moulins de St-Georges Sud-Ouest", de nouveaux puits d'accès, de 1 000 mm de diamètre ont été réalisés respectivement sur le domaine public routier départemental et dans une parcelle privée. La position de ces 2 ouvrages a été définie précisément après la réalisation, pour chaque carrière, d'un sondage de diamètre 150 mm complété par une inspection vidéo.

Il a été décidé de profiter de la présence de matériel de forage et d'inspection vidéo sur la commune de St-Georges-des-Coteaux afin de s'assurer que la carrière dite "Les Moulins de St-Georges Nord-Est" auquel un ancien puits d'accès actuellement remblayé donne accès, ne s'étend pas sous la voirie départementale. Les résultats de l'inspection vidéo réalisée dans 2 sondages de part et d'autre du puits et la réalisation, d'un troisième sondage, côté route, semblent indiquer que le puits débouche dans une cavité de faible dimension, ne s'étendant pas sous la route départementale.

Enfin les carrières "St-Georges Nord" et "St-Georges Sud-Ouest" à St-Georges-des-Coteaux et "Les Mauds" à Thénac ont fait l'objet de levés topographiques par un géomètre-expert et de relevés géotechniques complémentaires. Il ressort de ces dernières investigations que les carrières "Sud-Ouest" à St-Georges-des-Coteaux et "Les Mauds" à Thénac ne nécessitent pas de travaux de confortement dans l'immédiat du fait de leur état général actuel de stabilité. En revanche, la carrière "Nord" à St-Georges-des-Coteaux, dont la partie orientale sous-cave la totalité de la route départementale, présente un taux de défrètement et des indices d'instabilité devant nécessiter la réalisation de travaux de confortement, par remblaiement des secteurs situés sous la voirie.

Il est également à noter que le secteur de la carrière "Les Mauds" situé au sud de la route départementale RD138 et dont les parcelles sus-jacentes appartiennent à Mr Mâchefer présentent de nombreux signes d'instabilité. **Il serait donc nécessaire dans un premier temps de fermer, à l'aide d'une grille ou d'un simple grillage l'accès à cette cavité afin d'en dissuader l'accès à quiconque.**

Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'étude.....	7
2. Nature des investigations réalisées	11
2.1. DESCRIPTION GENERALE	11
2.1.1. Travaux initialement envisagés	11
2.1.2. Investigations géophysiques	11
2.1.3. Sondages et inspections vidéo.....	13
2.2. COMMUNE DE ROMEGOUX	13
2.3. COMMUNE DE ST-SULPICE-D'ARNOULT	14
2.4. COMMUNE DE THENAC.....	14
2.5. COMMUNE DE ST-GEORGES-DES-COTEAUX.....	15
2.5.1. Carrière Nord-Est.....	16
2.5.2. Carrière Nord	18
2.5.3. Carrière Sud-Ouest.....	20
3. Résultats et recommandations	23
3.1. COMMUNE DE ROMEGOUX	23
3.1.1. Résultats géophysiques	23
3.1.2. Recommandations suite aux investigations géophysiques	25
3.2. COMMUNE DE ST-SULPICE-D'ARNOULT	25
3.2.1. Résultats géophysiques	25
3.2.2. Recommandations suite aux investigations géophysiques	27
3.3. COMMUNE DE THENAC.....	27
3.3.1. Carrière "Les Mauds" secteur Sud-Est, inaccessible en 1999	27
3.3.2. Carrière "Les Mauds" secteur Sud-Est, visitée en 1999 -	29
3.4. COMMUNE DE ST-GEORGES-DES-COTEAUX.....	35
3.4.1. Carrière Nord-Est.....	35
3.4.2. Carrière Nord	35
3.4.3. Carrière Sud-Ouest.....	40
4. Récapitulatif	45

Liste des illustrations

Illustration 1 – Localisation des communes concernées par des carrières souterraines abandonnées faisant l'objet d'un suivi spécifique dans le cadre de cette étude.....	8
Illustration 2 – Communes de St-Sulpice-d'Arnoult et de Romegoux –	9
Illustration 3 – Communes de Thénac –.....	9
Illustration 4 – Commune de St-Georges-des-Coteaux –	10
Illustration 5 – Communes de St-Sulpice-d'Arnoult et Romegoux - Localisation des profils gravimétriques (P) et sismiques (SASW) réalisés.....	14
Illustration 6 - Commune de Thénac –	15
Illustration 7 – Commune de St-Georges-des-Coteaux – Localisation des sondages préalables au diamètre 150 mm	17
Illustration 8 – Commune de Romegoux, Carrière "Les Genêts centre" –.....	24
Illustration 9 - Commune de St-Sulpice-d'Arnoult, carrière "Pas du Fief" –	26
Illustration 10 – Commune de Thénac, carrière "Les Mauds" –.....	28
Illustration 11 - Carrière "Les Mauds" à Thénac – Relevés géotechniques sur fond de plan levé par un géomètre-expert	33
Illustration 12 - – Carrière Nord à St-Georges-des-Coteaux – Relevés géotechniques sur fond de plan levé par un géomètre-expert.....	37
Illustration 13 - Carrière Sud-Ouest à St-Georges-des-Coteaux - Relevés géotechniques sur fond de plan levé par un géomètre-expert.....	43

Liste des annexes

Annexe 1 – Planches photographiques	
Annexe 2 – Extraits du rapport BRGM/RP-40814-FR	
Annexe 3 – Microgravimétrie	
Annexe 4 – SASW	
Annexe 5 – Sondages Alios	
Annexe 6 – CCTP et bordereau de prix	

1. Contexte et objectifs de l'étude

A la suite d'un inventaire des carrières souterraines abandonnées en région Poitou-Charentes, réalisé en 1994-1995 par le BRGM – Service Géologique Régional Poitou-Charentes (rapport R38800, daté de janvier 1996), le Conseil Général de la Charente-Maritime et la DRIRE ont demandé au BRGM d'approfondir ces investigations sur une sélection de carrières situées à proximité immédiate de la voirie départementale.

Ainsi, dès 1998, vingt-sept carrières répondant à ce critère ont fait l'objet d'investigations complémentaires.

Dans un premier temps, un diagnostic spécifique a été réalisé sur 2 carrières situées sur les communes de Pons et Avy en raison du risque encouru par la RD249. Un rapport (BRGM R40468) a été édité en décembre 1998 préconisant des travaux de confortement.

Dans un deuxième temps, les 25 autres carrières ont été repérées et visitées sommairement afin de sélectionner celles qui nécessiteraient une étude plus approfondie (rapport BRGM R40632 de mai 1999). Quinze carrières ont ainsi fait l'objet d'un levé systématique à la boussole et au décamètre et d'un pré-diagnostic de stabilité assorti de préconisations en fonction de leur état de stabilité (rapport BRGM R40814 de décembre 1999).

Les reconnaissances préliminaires de 1999 ont montré la nécessité de conduire des études complémentaires sur certaines carrières ou zones de carrières présumées, susceptibles d'affecter la stabilité de routes départementales.

Ainsi, au mois de novembre 2003, le Conseil Général a demandé au BRGM de réaliser des études détaillées de stabilité et de définir des solutions de confortement pour les deux carrières dites "*Les Moulins de Saint-Georges Nord et Sud-Ouest*" situées sous la RD236 à Saint-Georges-des-Coteaux et pour le secteur Sud-Est de la carrière dite "*Les Mauds*" située sous la RD138 à Thénac (cf. Illustration 1), comme préconisé suite aux pré-diagnostic géotechniques de 1999. Par ailleurs, cette étude complémentaire a porté sur l'existence d'anciens puits ou bouches de cavages remblayés, à Thénac, Saint-Georges-des-Coteaux, Romegoux et Saint-Sulpice-d'Arnoult, à proximité de routes départementales, afin de vérifier leur connexion avec d'éventuelles zones de vides susceptibles de s'étendre sous la voirie.

Ces vestiges de puits d'extraction se situent aux lieux-dits "Les Genêts centre" à Romegoux, "Pas du Fief" à St-Sulpice-d'Arnoult (cf. Illustration 2), "Les Mauds sud" à Thénac (cf. Illustration 3) et "Les Moulins de St-Georges Nord-Est" à St-Georges-des-Coteaux (cf. Illustration 4) à proximité d'anciennes carrières souterraines connues, accessibles et cartographiées en 1999.

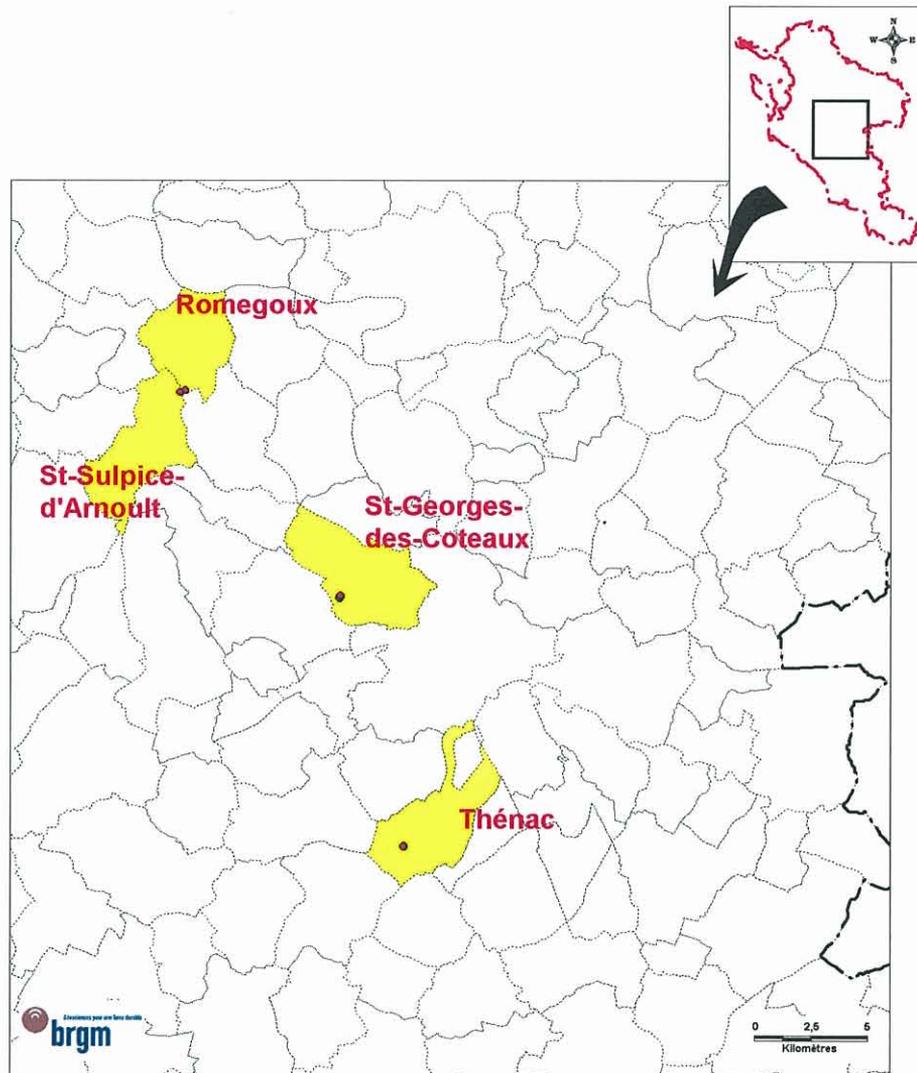


Illustration 1 – Localisation des communes concernées par des carrières souterraines abandonnées faisant l'objet d'un suivi spécifique dans le cadre de cette étude

L'ensemble de ces investigations et les résultats obtenus font l'objet du présent rapport. Des photographies des différentes étapes des investigations effectuées sont présentées en annexe 1.

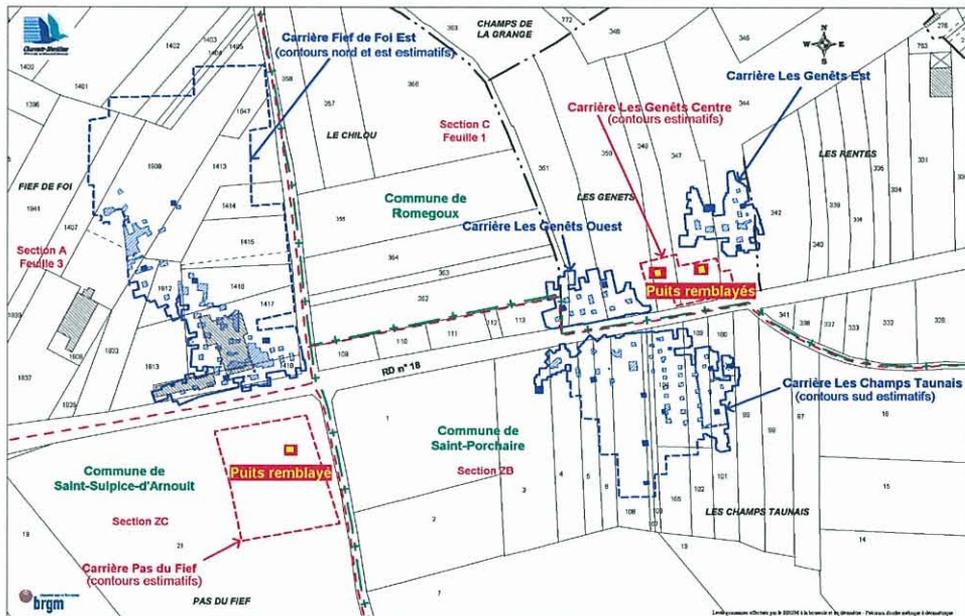


Illustration 2 – Communes de St-Sulpice-d'Arnoult et de Romegoux – Localisation des anciens puits d'accès remblayés aux carrières "Pas du Fief" et "Les Genêts centre"

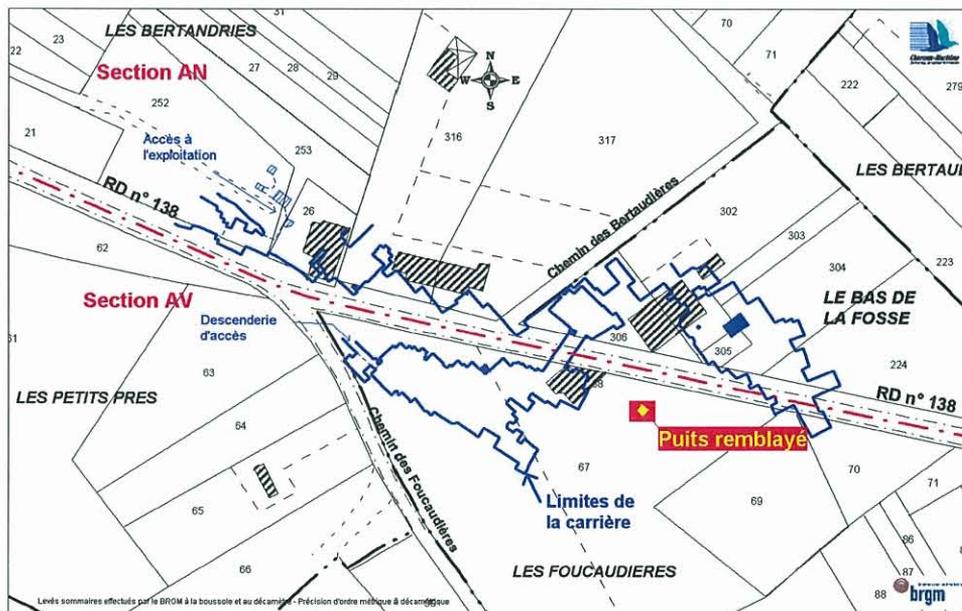


Illustration 3 – Communes de Thénac – Localisation d'un ancien puits d'accès remblayé à la carrière "Les Mauds"

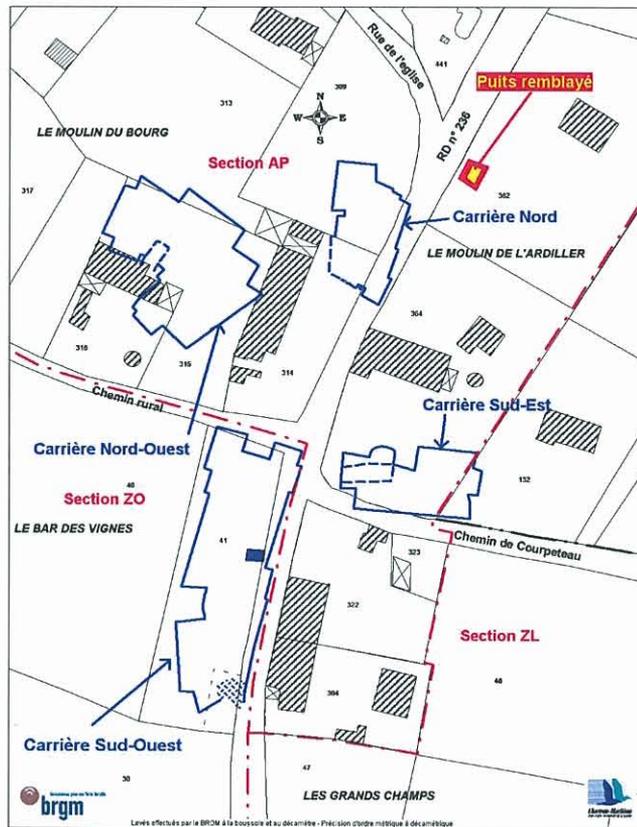


Illustration 4 – Commune de St-Georges-des-Coteaux – Localisation d'un ancien puits d'accès remblayé à la carrière "Nord-Est"

Pour rappel, des extraits du rapport BRGM/RP-40814-FR de janvier 1999, décrivant la géométrie et les caractéristiques géotechniques des trois carrières souterraines visitées en 1999 (communes de Thénac et St-Georges-des-Coteaux) sont présentés en annexe 2.

2. Nature des investigations réalisées

2.1. DESCRIPTION GENERALE

2.1.1. Travaux initialement envisagés

L'objectif initial recherché était de déterminer les caractéristiques géométriques et l'état de stabilité des nouvelles carrières identifiées par leurs anciens puits d'accès remblayés sur les communes de Romegoux, St-Sulpice d'Arnoult, Thénac et St-Georges-des-Coteaux. Il fallait donc rendre à nouveau possible l'accès à ces anciennes carrières souterraines abandonnées.

Pour cela il convenait d'extraire les déchets et remblais déversés depuis de nombreuses années dans les anciens puits d'accès identifiés en surface. Cette extraction devait se réaliser à la benne preneuse et les déchets devaient être évacués vers une décharge adaptée. Trois de ces puits étant bien visibles, de section carrée, avec une ouverture variant entre 2,60 m et 3,70 m, leur curage était envisagé. Le cas particulier de St-Georges-des-Coteaux, où le puits n'était plus visible en surface car recouvert de pelouse, devait être traité à part.

En vue de la réalisation de travaux sur des parcelles privées et à la demande du Conseil Général, des conventions ont été établies entre le Conseil Général et chacun des propriétaires.

Mais certains points dans les travaux envisagés présentaient des difficultés quant à la bonne réalisation de la réouverture des accès : coût du curage important (nombreux déchets et incertitudes sur leur type, décharge éloignée), refus d'un propriétaire de réaliser des travaux de curage dans son champ cultivé.... La mise en œuvre d'investigations géophysiques sur trois de ces sites a alors été envisagée, en lieu et place de ces réouvertures, et en accord avec le Conseil Général. Ceci concerne les sites de Romegoux, St-Sulpice-d'Arnoult et Thénac.

2.1.2. Investigations géophysiques

Ces investigations géophysiques ont été réalisées en décembre 2004 et ont fait l'objet du rapport BRGM/RP-53596-FR édité en janvier 2005. Ce dernier décrit en détail les méthodes utilisées et les résultats des mesures. Ces différents éléments ne seront que résumés ici.

En remplacement des travaux de curage initialement prévus, des investigations géophysiques susceptibles de détecter la présence de vides sous la chaussée ont été

mises en œuvre par le service ARN/RSC¹ du BRGM. Afin d'obtenir les résultats les plus fiables possibles, deux méthodes d'investigations ont été couplées :

- la microgravimétrie (cf. annexe 3), qui consiste à déterminer les anomalies de la pesanteur occasionnées par l'inégale répartition des densités dans le sous-sol. C'est une des méthodes les plus utilisées pour la détection de vides. Dans le contexte local, caractérisé par des cavités relativement volumineuses, un fort taux de défrètement² et une faible épaisseur du recouvrement, elle permet d'observer des effets gravimétriques de forte amplitude, largement supérieure au seuil de détection de la méthode,
- la SASW³ (cf. annexe 4), méthode exploitant la propriété des ondes de Rayleigh (ondes sismiques de surface) à se propager parallèlement à la surface du sol, dans sa partie superficielle et à s'atténuer avec la profondeur. Elles permettent ainsi d'identifier et de différencier, en milieu stratifié, chaque couche du sous-sol, caractérisée par des propriétés mécaniques différentes. Dans le cas présent, elle donne l'image des secteurs de faibles propriétés mécaniques, telles que les zones décomprimées ou d'éventuels fontis en formation. Cette méthode fait encore l'objet de travaux de recherche, notamment au BRGM, en couplage avec la microgravimétrie, afin de réduire les ambiguïtés d'interprétation de cette dernière.

La prospection géophysique a été réalisée :

- le long de la voirie départementale afin de s'assurer qu'aucun vide n'était détecté au-dessous
- entre les puits identifiés et remblayés et la voirie départementale afin de s'assurer qu'aucun départ de galerie ne s'étendait dans cette direction.

Cette mise en œuvre le long de la voirie départementale a nécessité l'installation d'un système de circulation alternée sur les tronçons de routes concernées (RD18 et RD138).

Sur chacune des communes étudiées, et à proximité immédiate de chaque site prospecté, d'anciennes carrières souterraines ont déjà fait l'objet de levés géométriques et de pré-diagnostics de stabilité par le BRGM (rapport BRGM/R40814, décembre 1999). Ces zones de vides, connues et cartographiées, ont permis de "caler" les profils géophysiques à réaliser (cf. Illustration 5 et Illustration 6).

¹ Aménagement et Risques Naturels / Risques Sous-sol et Cavités

² Taux de défrètement : rapport de la superficie des vides (= superficie exploitée) à la superficie totale d'une carrière souterraine

³ SASW : Spectral Analysis of Surface Waves (Imagerie Sismique en Onde de Surface)

Cette phase de prospection géophysique est une première étape dans la recherche de vides. Au vu des mesures effectuées et des résultats obtenus, la réalisation de sondages destructifs (de 1 à 3 en général) au droit des anomalies mises en évidence est indispensable pour valider l'existence d'une cavité. La réalisation de ces sondages n'étant pas intégrée dans la convention établie entre le Conseil Général et le BRGM, leur exécution sera déterminée par les résultats obtenus au cours des mesures géophysiques.

2.1.3. Sondages et inspections vidéo

Pour chacune des 3 anciennes carrières étudiées dans la commune de St-Georges-des-Coteaux, il était prévu de réaliser 1 à 4 sondages, soit aux alentours du puits d'extraction remblayé pour la *carrière Nord-Est*, soit sur des emplacements déterminés d'après les plans levés en 1999 pour les *carrières Nord* et *Sud-Ouest* (cf. Illustration 7). L'objectif de ces sondages est, une fois les vides atteints, de permettre le passage d'une caméra vidéo afin de découvrir l'étendue et la position des cavités afin de positionner au mieux le nouveau puits d'accès.

Ces sondages ont été réalisés par la société de forages *ALIOS INGENIERIE* dont l'intervention s'est déroulée les 10 et 11 janvier 2005. Ils ont été réalisés au tricône de diamètre 150 mm avec injection d'eau et enregistrement des paramètres de foration (vitesse d'avancement, pression sur l'outil, couple de rotation et pression d'injection). Lorsque ces sondages ont permis de confirmer la présence de vides, ils ont été équipés à l'aide de tubes PVC de diamètre 120 mm, depuis la surface du terrain naturel jusqu'à 20 cm au-dessus du toit de la carrière afin de permettre le passage de la caméra vidéo. Ils ont ensuite été protégés en tête par des capots de protection ou par des regards métalliques.

Les inspections vidéo ont été effectuées par *l'Inspection Générale des Carrières (IGC)* de Versailles. Ces inspections consistaient en une observation des vides rencontrés en sondage, complétée par des mesures planimétriques réalisées par un géomètre. Les levés des terrains en surface et des mesures effectuées en sous-sol ont fait l'objet d'un rapport remis par l'IGC au Conseil Général en janvier 2005.

2.2. COMMUNE DE ROMEGOUX

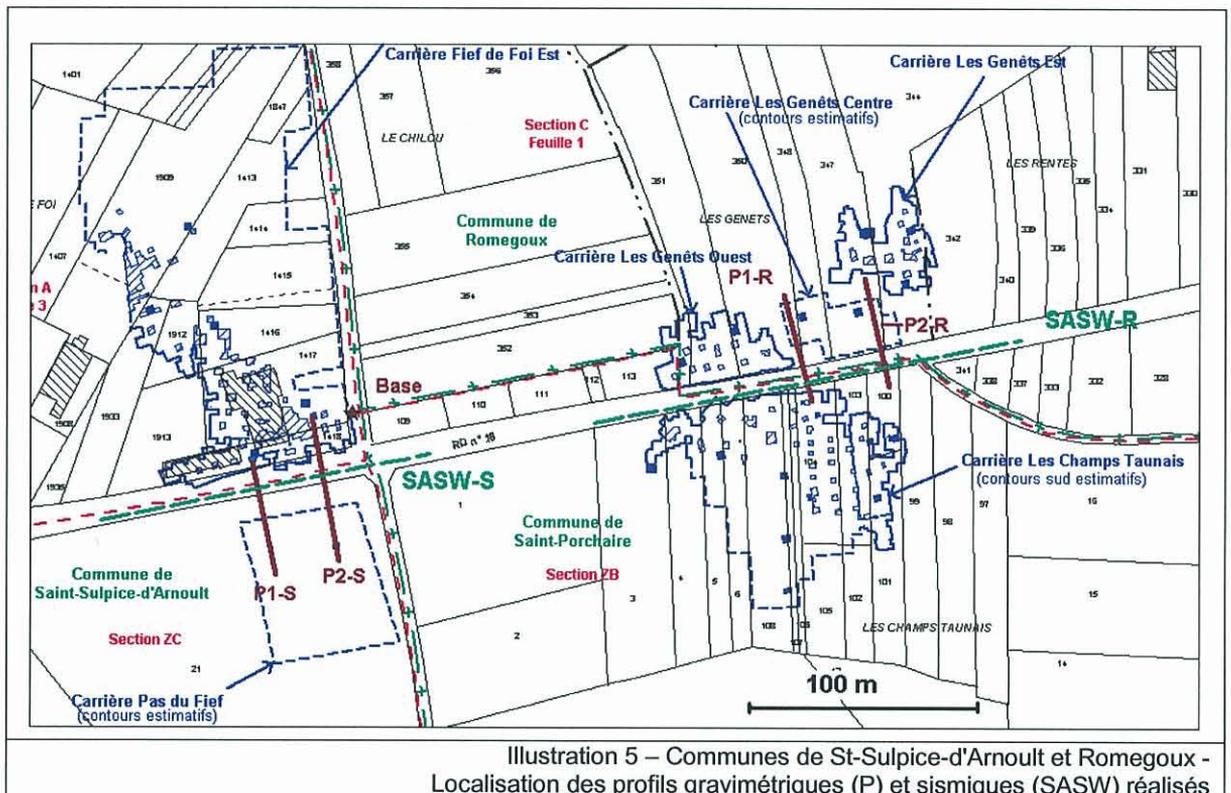
Deux carrières souterraines abandonnées ("Les Genêts Est" et "Les Genêts Ouest") avaient déjà été cartographiées de part et d'autre des puits remblayés ainsi qu'une carrière ("Les Champs Taunais", commune de St-Porchaire) de l'autre côté de la route départementale.

Deux profils gravimétriques (P1-R et P2-R) ont été implantés perpendiculairement à la route, atteignant les bords de la carrière "Les Champs Taunais", et un profil SASW (SASW-R) a été implanté le long de la voirie départementale afin de détecter d'éventuelles perturbations (cf. Illustration 5).

2.3. COMMUNE DE ST-SULPICE-D'ARNOULT

Il existe une carrière souterraine abandonnée et levée en 1999 de l'autre côté de la route départementale RD18, au niveau du lieu-dit "Fief de Foi".

Deux profils gravimétriques (P1-S et P2-S), dont l'un (P1-S) passe par le puits d'extraction remblayé mais encore bien visible sur le terrain, ont été implantés perpendiculairement à la route. De la même façon que pour le site de Romegoux, ils atteignent les bords de la carrière "Fief de Foi", connus. Un profil SASW (SASW-S) a été également implanté le long de la voirie départementale afin de détecter d'éventuelles perturbations (cf. Illustration 5)

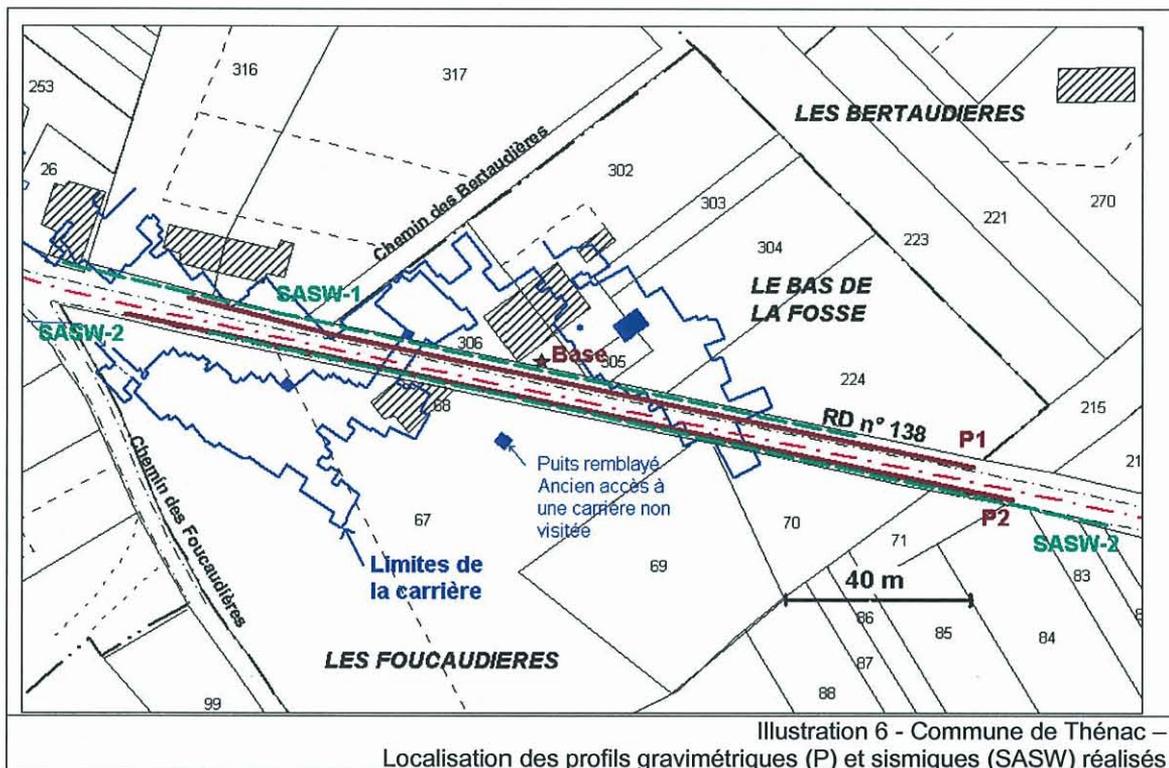


2.4. COMMUNE DE THENAC

Il existe sur cette commune et à proximité immédiate de la zone étudiée, une carrière souterraine qui a fait l'objet de levés sommaires en 1999 et de levés complémentaires dans le cadre du présent travail. Cette carrière connue traverse par deux fois la route départementale n° 138, de part et d'autre du puits remblayé. Ce puits est situé à 8 mètres au sud de la route et à l'est de l'extrémité sud de la carrière visitée en 1999 dite "Les Mauds".

Le puits n'étant pas facilement accessible (végétation dense), les investigations se sont limitées de part et d'autre de la route et les profils gravimétriques (P1 et P2) et SASW (SASW-1 et SASW-2) ont tous deux recoupé les vides connus passant sous la voirie

départementale, ceci afin de caler les mesures sur les cavités identifiées et de repérer les vides éventuels en dehors des zones déjà cartographiées (cf. Illustration 6)



2.5. COMMUNE DE ST-GEORGES-DES-COTEAUX

Deux phases distinctes de l'étude complémentaire étaient prévues dans cette commune :

1. Deux carrières bordant, voire sous-cavant, la route départementale RD236 ont fait l'objet, en 1999, d'un levé topographique à la boussole et au décamètre assorti d'un pré-diagnostic géotechnique. Depuis lors, l'un des accès a été rebouché en totalité (carrière "Les Moulins de St-Georges Sud-Ouest"), tandis que l'autre (carrière "Les Moulins de St-Georges Nord") ne peut se faire qu'à partir d'un puits d'eau qui donne dans la cavité, au moyen de techniques spéléologiques. Le Conseil Général souhaitant établir un diagnostic plus approfondi de ces deux carrières, il a été décidé de réaliser de nouveaux puits d'accès, pérennes, à ces carrières souterraines. La description des différents travaux réalisés est présentée ci-après. Les résultats des visites de terrain font l'objet du chapitre 4.
2. Tout comme pour les communes de Romegoux, St-Sulpice-d'Arnoult et Thénac, il s'agit de s'assurer que le puits d'extraction, totalement remblayé, qui a été signalé à proximité de la route départementale RD236, au lieu-dit "Les Moulins de St-Georges", sur la parcelle cadastrale AP362 appartenant à M. Dugeon, ne donne pas accès à une ancienne carrière souterraine

dont l'extension passerait sous la voirie départementale. Cette carrière a été dénommée "Carrière Nord-Est". Afin de lever cette incertitude, il a été décidé de profiter de la présence de matériel de sondage et d'inspection vidéo utilisé en vue de la création de nouveaux puits d'accès aux carrières décrites ci-dessus pour réaliser 2 à 4 sondages destructifs, de faible diamètre (150 mm) complétés par une inspection vidéo dans chacun des sondages.

2.5.1. Carrière Nord-Est

a) Sondages préalables

Pour cette carrière, la réalisation de sondages aux abords du puits d'extraction remblayé répond à un double objectif. Le premier est de s'assurer, par l'intermédiaire d'une inspection vidéo, que ce puits donne bien accès à une carrière souterraine susceptible de sous-caver la route départementale. Si tel est le cas, le second objectif visé consiste à positionner au mieux le nouveau puits d'accès qui permettra de visiter cette cavité afin d'établir un levé topographique sommaire ainsi qu'un pré-diagnostic de l'état de stabilité.

Du fait de la position du puits, en bordure de parcelle et surplombant la route départementale depuis un talus de 1,5 à 2 mètres de hauteur, il était difficile à la machine de forage de réaliser un sondage sur le bord Nord-Nord-Ouest du puits, côté route. Les premiers sondages ont donc été positionnés de part et d'autre du puits remblayé, sur la parcelle privée, à une distance suffisante du puits de manière à éviter de rencontrer les remblais déversés qui auraient alors masqué la vue pour l'inspection vidéo (cf. Illustration 7).

La machine de forage a été grutée depuis la route (cf. photo 1 de l'annexe 1).

Les sondages SD1 et SD2 ont rencontré des vides sur une hauteur d'environ 2 m, à une profondeur respective de 7,70 m et 6 m. Puis l'outil a atteint à nouveau des terrains indurés, très vraisemblablement constitués de remblais plus ou moins consolidés (cf. coupes de sondages en annexe 5). Ces sondages ont été équipés à l'aide de tubes PVC de diamètre 120 mm, depuis la surface du terrain naturel jusqu'à 20 cm au-dessus du toit de la carrière afin de permettre le passage de la caméra. Ces forages sont munis en tête de capots de protection.

b) Inspection Vidéo

Sur chaque sondage l'inspection vidéo avait pour objectifs d'observer la carrière atteinte et si possible d'en apprécier les dimensions et les éventuelles extensions mais aussi d'orienter le positionnement du sondage suivant si nécessaire afin de couvrir la totalité de la cavité découverte.

La première inspection a été réalisée après tubage du sondage SD1 et a permis d'orienter la réalisation du second sondage (SD2) de l'autre côté du puits. Une nouvelle

inspection vidéo a alors été effectuée sur le sondage SD2. Ces 2 inspections, complétées par des mesures planimétriques, ont permis d'appréhender la géométrie de cette ancienne exploitation souterraine.

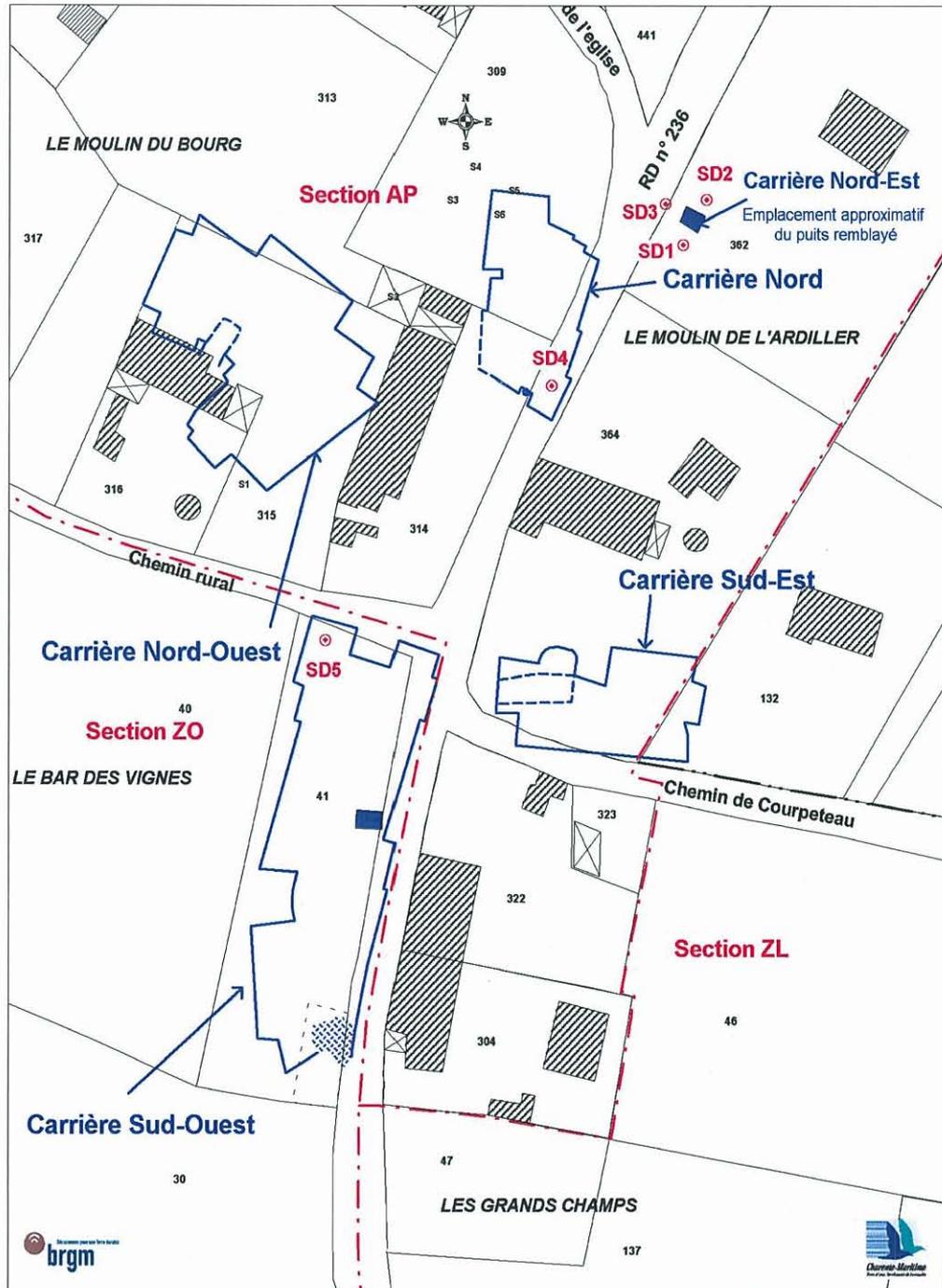


Illustration 7 – Commune de St-Georges-des-Coteaux – Localisation des sondages préalables au diamètre 150 mm

2.5.2. Carrière Nord

a) Sondage préalable

L'objectif de la réalisation de ce sondage, en diamètre 150 mm, suivi d'une inspection vidéo, est de positionner précisément l'emplacement du puits définitif, de 1000 mm de diamètre, qui constituera l'accès principal et pérenne à cette carrière souterraine abandonnée.

Un unique sondage préalable a été réalisé, du fait de la bonne connaissance antérieure de l'emprise de cette cavité, qui avait fait l'objet de levés à la boussole et au décamètre en 1999 (cf. supra), avec report sur fond cadastral.

Sachant que la route départementale est sous-cavée sur la quasi-totalité de sa largeur, à proximité du puits d'eau ayant permis la visite en 1999, le sondage préalable a été positionné sur le domaine routier départemental, entraînant la coupure d'une demi voie de circulation durant les travaux.

La position du sondage a été déterminée en prenant compte des critères suivants :

- les emplacements des passages de réseaux enterrés longeant ou traversant la route (pour l'assainissement, le téléphone, l'éclairage public, l'eau potable ainsi qu'une fibre optique)
- l'emprise de la carrière sous la route d'après le report sur fond cadastral, en tenant compte de la précision des levés de 1999.

Ce sondage a ainsi été réalisé à proximité du puits à eau et du bassin qui l'entoure, dans un secteur où la carrière sous-cave la quasi-totalité de la route (cf. Illustration 7).

Selon le rapport de l'entreprise (joint en annexe 5), ce sondage SD4 a traversé les terrains calcaires sur 6,10 m de hauteur avant de rencontrer le vide. Il s'est poursuivi jusqu'à 12,80 m de profondeur avant de rencontrer à nouveau des terrains indurés. Ces 6,70 m de vides ne correspondent toutefois pas aux informations à notre disposition sur la hauteur de galerie, qui devait être de l'ordre de 1 à 3 m.

b) Inspection vidéo

Les prises de vue de la caméra depuis le sondage ont permis de constater d'emblée que les vides situés dans la partie méridionale de la carrière, seuls visibles à partir du SD4, étaient limités en importance du fait de la présence, sur l'ensemble de la zone, et dans le champ de vision de la caméra, de nombreux amoncellements de matériaux plus ou moins proéminents. La présence de ces remblais, dont l'épaisseur atténuée considérablement la hauteur des vides dans certains secteurs de la carrière, amènent à orienter le choix de la position du puits définitif.

Cette inspection vidéo a permis de constater que le sondage réalisé était situé exactement à l'aplomb du mur bordant le bassin côté est et que l'outil est descendu au

fond dudit bassin. Ce qui explique les hauteurs de vides importantes relevées par l'entreprise de sondages.

L'examen des images recueillies complété par les différentes prises de mesures et relevés, ont permis de préciser la localisation du bassin qui recueille les eaux du puits ainsi que les contours de la carrière dans la zone avoisinant le sondage. Il est ainsi apparu que le réservoir et l'ensemble de la cavité présentaient des implantations et des dimensions sensiblement différentes de celles relevées en 1999. L'emprise de la carrière pourrait ainsi être augmentée d'un peu plus de 1 mètre vers le nord-est par rapport aux éléments figurés sur les levés réalisés en 1999.

A l'issue des relevés et observations effectuées, l'IGC a proposé de positionner le futur puits de visite à 1,50 m environ vers l'est ou le nord-est par rapport au sondage.

c) Nouveau puits d'accès

Ce nouveau puits d'accès à cette ancienne exploitation souterraine est destiné à permettre le passage d'homme, éventuellement munis de matériel encombrant. Il devra servir d'accès à la carrière aux géomètres devant effectuer les levés, aux géotechniciens du BRGM et, suivant les conclusions de la présente étude, à toutes personnes devant y intervenir (pour la pose éventuelle de fissuromètres puis le suivi des mesures et/ou pour la réalisation de travaux de confortement).

Ce puits de diamètre 1 000 mm a été équipé d'une échelle métallique munie d'une ligne de vie. Il est fermé en surface par un tampon et une grille de protection munie d'un cadenas, posée 20 cm sous le terrain naturel, installés par l'entreprise BTPS.

Le creusement du puits a été réalisé par l'entreprise Technitra, à la Benoto⁴ (trepan et benne-preneuse) (cf. photos 7 à 10 de l'annexe 1) les 30 et 31 août 2005.

Comme préconisé par l'IGC, le puits a été décalé vers le nord-nord-est par rapport au sondage SD4, à 3 m de celui-ci. Son emprise est limitée à une seule voie de la route départementale afin de permettre une circulation alternée lors de toute intervention dans cette carrière.

Le puits a été foré sur une profondeur de 6 m environ, le tubage métallique n'a pu être foncé jusqu'au toit de la carrière car de gros blocs calcaires sont saillants sur les derniers 80-100 cm au-dessus de la galerie. Le tubage est maintenu dans le sol par simple frottement et repose sur les blocs calcaires au bas du forage. La longueur du

⁴ Les terrains sont cassés par le trépan, lâché de 3 m de hauteur initialement puis de 1 m environ en raison des vibrations occasionnées aux maisons riveraines. Un tube métallique de diamètre 1 000 est ensuite vibrofoncé dans le sol et les déblais sont évacués à l'aide d'une benne preneuse.

tube métallique est d'environ 5 m, celle de l'échelle, qui atteint le sol de la carrière est d'environ 7 à 7,50 m.

2.5.3. Carrière Sud-Ouest

a) Sondage préalable

Tout comme pour la carrière Nord décrite ci-dessus, l'objectif de ce sondage, suivi d'une inspection vidéo, est de permettre le positionnement précis du puits d'accès définitif, de 1 000 mm de diamètre.

Le sondage a été implanté près de la limite nord-ouest de la carrière qui, d'après les relevés de 1999, ne présente pas de signe d'instabilité. Cette partie de carrière est surmontée par un terrain en friche appartenant à M. Gradaive. La partie nord-est, présentant les mêmes caractéristiques de stabilité, est surmontée par le talus routier, rendant d'éventuels travaux difficiles. Le choix s'est donc porté sur le secteur nord-ouest du site.

Le sondage a été positionné à 4 m au sud du bord du chemin communal et à environ 20 m du carrefour formé par ce chemin et la RD236, en s'efforçant de tenir compte de la précision des levés à la boussole et au décamètre réalisés en 1999 (de l'ordre de quelques mètres).

Ce sondage a traversé les terrains calcaires sur 8,35 m de hauteur, puis a rencontré des vides sur 3,15 m avant de traverser à nouveau des terrains indurés, probablement des remblais au vu des paramètres enregistrés sur l'outil (sur environ 2 m). Le calcaire sain a été atteint à 13,75 m de profondeur.

Ces résultats étaient attendus au vu du rapport de 1999. Après mise en place d'un tubage PVC jusqu'à 30 cm au-dessus du toit de la carrière et d'une fermeture par un regard métallique, une inspection vidéo a été réalisée.

b) Inspection vidéo

Les vues prises par la caméra depuis le sondage ont permis de constater que la configuration des vides pour les secteurs proches du SD5 paraissait sensiblement conforme aux descriptions de 1999 : carrière de dimension importante s'étirant sur environ 15 m vers le sud-est et d'une quarantaine de mètres vers le sud-ouest. Néanmoins l'emprise de cette partie de carrière a paru à l'IGC assez fortement décalée, d'environ 2 à 2,5 m, vers le nord-ouest par rapport aux croquis de 1999. Les levés de géomètre prévus dans une phase ultérieure, permettront de préciser les contours et l'emprise de la carrière par rapport à la surface.

L'IGC a proposé que le futur puits de visite soit positionné à environ 3 m au nord-nord-ouest du sondage SD5.

c) Nouveau puits d'accès

Ce puits, de diamètre 1 000 mm, destiné à permettre le passage d'hommes a été réalisé en bordure de la parcelle, à 4 m du chemin communal. Il devrait se situer à environ 2 m de la limite nord de la carrière souterraine.

Comme pour le puits de la carrière Nord, ce puits a été foré à la Benoto, sur une hauteur de 13 m. Le tubage métallique n'a pu être vibrofoncé jusqu'au toit de la carrière en raison de la présence de blocs calcaires au bas du forage. La longueur du tube métallique est de 6 à 7 m, celle de l'échelle de 10 à 11 m.

Le puits est fermé par un tampon métallique et une grille cadenassée. Les clefs sont détenues par la mairie de St-Georges-des-Coteaux, la subdivision de la DDE de Saintes et le BRGM de Poitiers.

3. Résultats et recommandations

Les résultats des investigations géophysiques sont issus du rapport BRGM/RP-53596-FR "Prospections microgravimétrie et sismique" édité en janvier 2005.

Seuls les résultats des mesures microgravimétriques seront présentés sous forme d'illustrations. Les résultats de SASW, quant à eux, sont consultables dans le rapport cité plus haut. Ainsi, les illustrations 8 à 10 présentent sous forme de graphique, pour chacun des sites, les mesures gravimétriques obtenues sur chaque profil et à chaque station de mesure. Une anomalie faible peut traduire la présence d'un vide ou d'une zone décomprimée dans le sous-sol.

Afin de se caler avec les éléments connus, la position de ces derniers est repérée au niveau de l'axe des abscisses du graphique (emplacement de la route départementale, des carrières connues et cartographiées, des puits d'extraction remblayés ou non) et permet alors de situer les anomalies détectées sur le linéaire afin d'en faciliter l'explication.

3.1. COMMUNE DE ROMEGOUX

3.1.1. Résultats géophysiques

a) Gravimétrie

On peut noter très clairement, sur les deux profils (cf. Illustration 8), que les carrières "*Les Champs Taunais*" et "*Les Genêts Est*" qui permettent de caler les mesures, ont un effet significatif sur les mesures :

- anomalie A traduisant la présence de la carrière "*Les Champs Taunais*" à faible distance de la route,
- anomalie D, traduisant la présence de la carrière "*Les Genêts Est*" à 50 m de la route environ.

Sur le profil P2-R, deux anomalies (B et C) de faible amplitude sont identifiées. L'anomalie C se situe à proximité de l'emplacement supposé d'un ancien puits d'extraction rebouché, ce qui peut l'expliquer. Il peut également s'agir de la réponse d'une carrière souterraine de faible extension. Quant à l'anomalie B, située au niveau de la route départementale, elle pourrait s'expliquer par un défaut de structure de la chaussée. La SASW apportera des précisions sur cette conclusion.

b) SASW

Les mesures effectuées en SASW indiquent l'absence de perturbations importantes au niveau de la route et sont caractéristiques d'une structuration régulière des terrains.

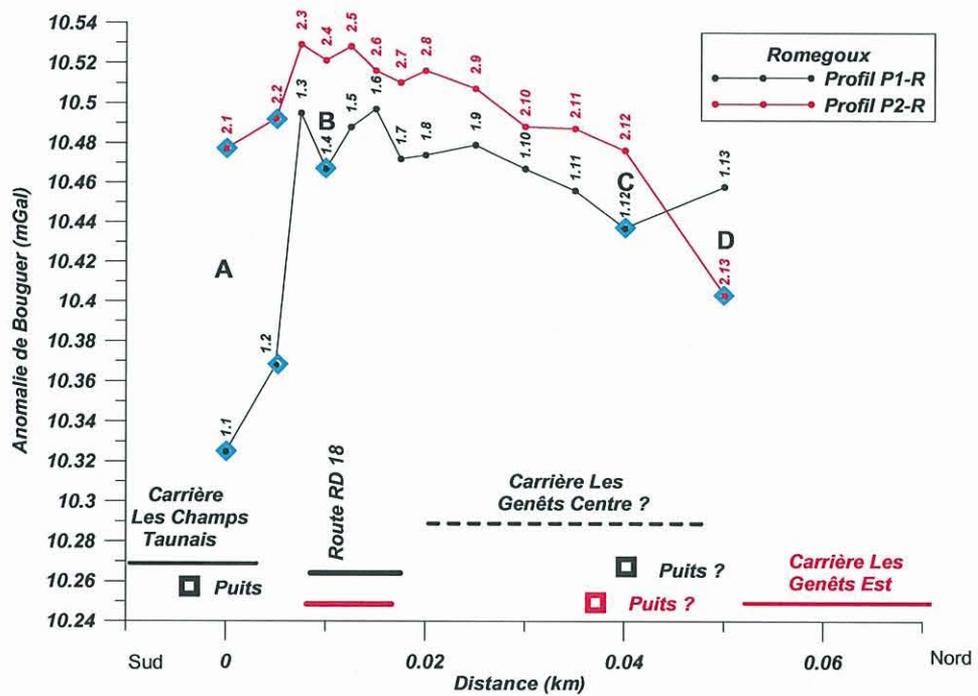
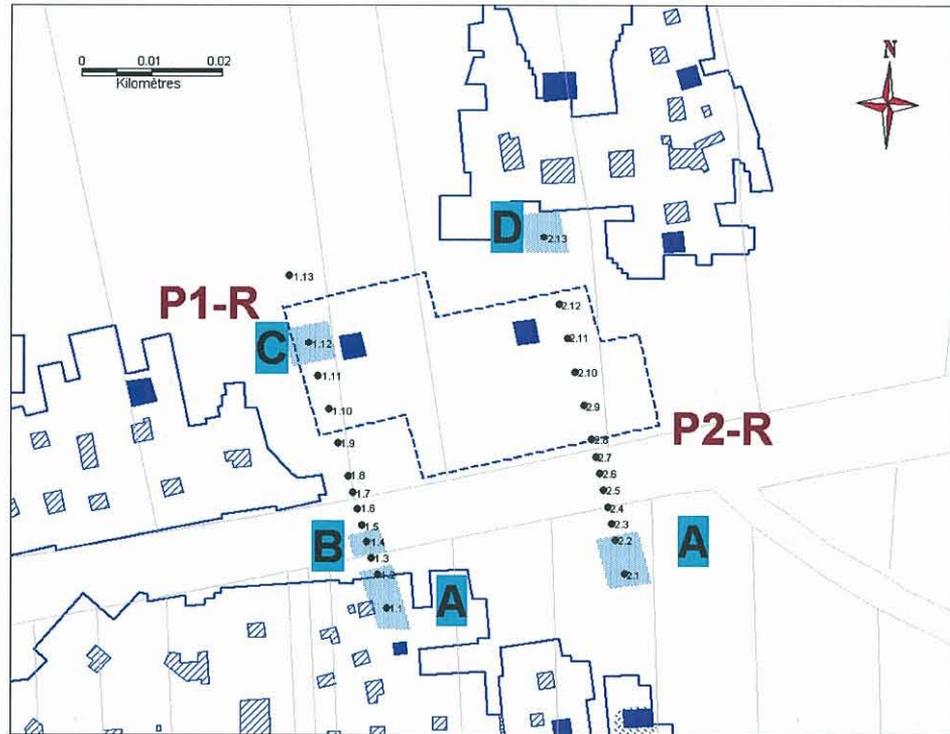


Illustration 8 – Commune de Romegoux, Carrière "Les Genêts centre" –
 1) Situation des stations gravimétriques – 2) Profils des anomalies de Bouguer

Aussi, l'anomalie gravimétrique notée B (de faible amplitude), au niveau de la route départementale, est probablement liée à une hétérogénéité superficielle : l'analyse des mesures gravimétriques exclue la présence de vides importants à ce niveau et la SASW indique une très faible perturbation. Cette anomalie, dont l'origine est inexpliquée à ce jour, ne semble pas due à l'existence d'une cavité souterraine à cet emplacement ; il n'apparaît donc pas nécessaire de la contrôler par sondage.

3.1.2. Recommandations suite aux investigations géophysiques

Les résultats obtenus en géophysique sur le site de Romegoux indiquent qu'il n'y aurait pas de vides traversant la route départementale dans le prolongement des puits actuellement remblayés.

3.2. COMMUNE DE ST-SULPICE-D'ARNOULT

3.2.1. Résultats géophysiques

a) Gravimétrie

Les deux profils positionnés afin de recouper, au nord de la route, la carrière du "Fief de Foi", permettent nettement de localiser sa présence (cf. Illustration 9).

Au sud de la route, du côté du puits remblayé, quatre anomalies sont mises en évidence sur les 2 profils : une (anomalie C) sur le profil P1-S, le plus à l'ouest et trois (anomalies B, D, E) sur le profil P2-S qui traverse le puits remblayé. L'anomalie E se situe au droit du puits rebouché, et traduit la présence de terrains décomprimés (remblais). Les anomalies B, C et D, de faible amplitude par rapport aux réponses obtenues par le gravimètre dans les carrières de Thénac ou de Romegoux, laissent à penser que la carrière serait de faibles extensions latérale et verticale. Les anomalies les plus proches de la route pourraient quant à elle être dues à un défaut de structure de la chaussée. Les mesures de SASW permettront d'affiner ces conclusions.

b) SASW

Les mesures réalisées en SASW indiquent un secteur perturbé dans les zones à anomalies gravimétriques proches de la route départementale, ce qui indiquerait la présence de terrains moins compactés à ce niveau. Ailleurs, la structuration très régulière observée en SASW confirme l'absence de perturbation au niveau de la route.

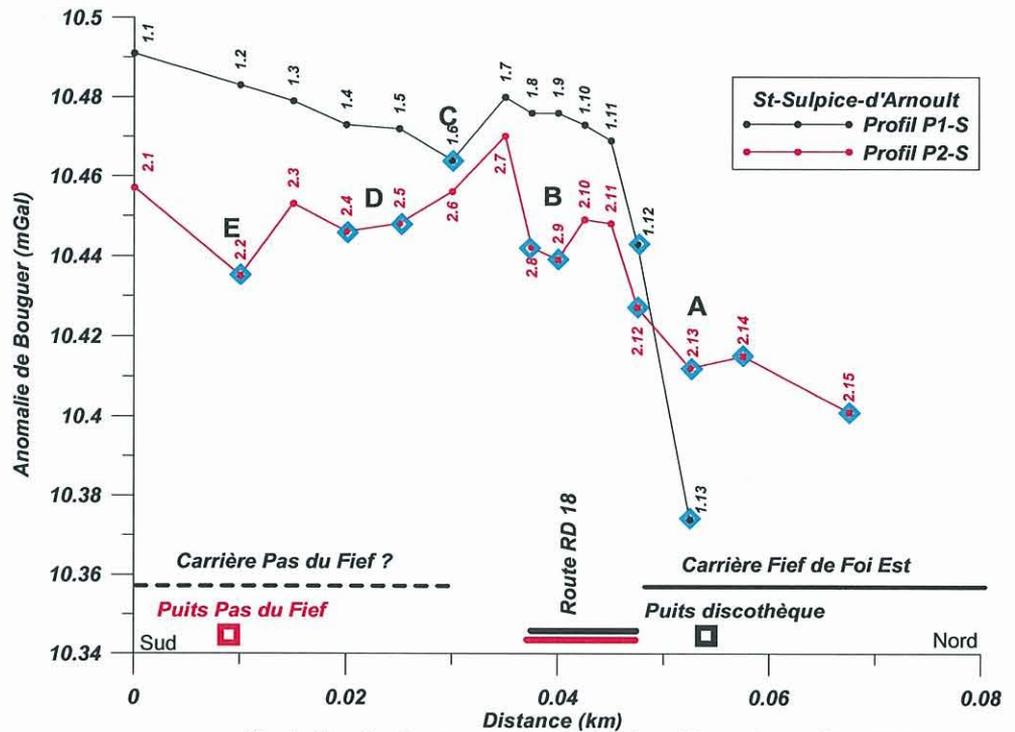
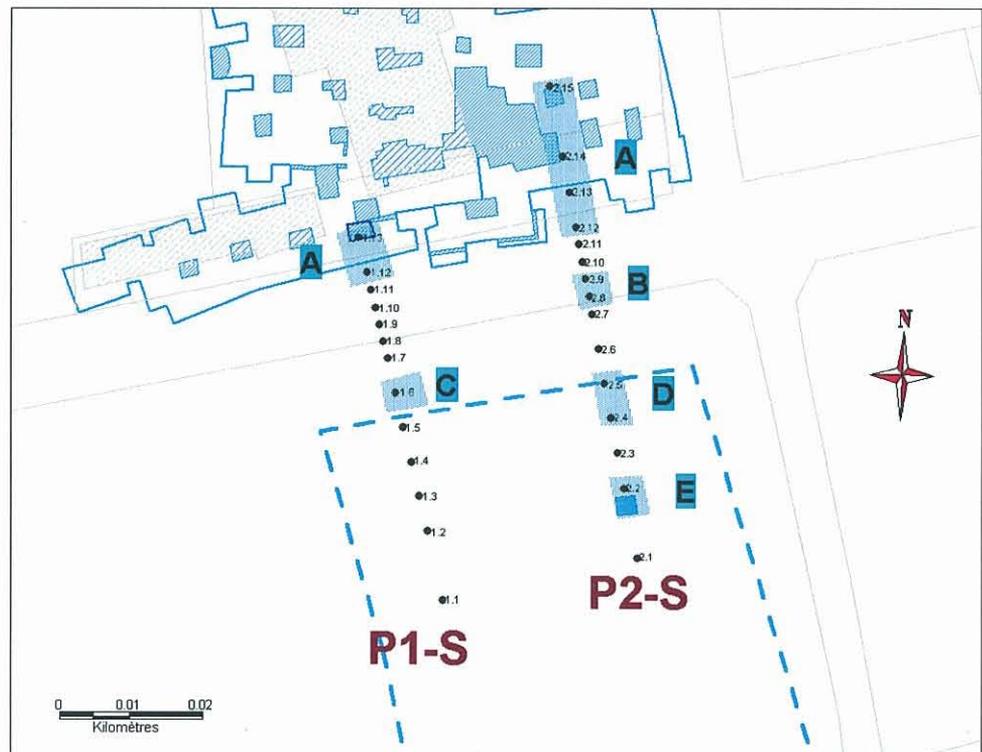


Illustration 9 - Commune de St-Sulpice-d'Arnout, carrière "Pas du Fief" – 1) Situation des stations gravimétriques – 2) Profils des anomalies de Bouguer

3.2.2. Recommandations suite aux investigations géophysiques

D'après les mesures gravimétriques, le puits d'extraction remblayé ne semble pas ouvrir sur une carrière s'étendant jusqu'à la route départementale RD18. Toutefois l'anomalie gravimétrique notée B ayant été confirmée par la SASW, **il serait souhaitable d'effectuer un contrôle par sondage afin de s'assurer de son origine** qui n'a pu être clairement expliquée par les 2 méthodes géophysiques mises en œuvre.

3.3. COMMUNE DE THENAC

3.3.1. Carrière "Les Mauds" secteur Sud-Est, inaccessible en 1999

a) Gravimétrie

On remarque nettement sur les deux profils, réalisés de part et d'autre de la route départementale, 2 anomalies négatives notées A et B et correspondant aux passages de la carrière connue sous la voirie départementale (cf. Illustration 10). L'anomalie redevenant positive entre ces deux points, **cela semble indiquer qu'il n'y a pas, sous la voirie départementale et dans le prolongement de l'ancien puits remblayé, de vides non répertoriés entre les zones de carrières connues et cartographiées.**

b) SASW

Les mesures réalisées mettent en évidence, entre les anomalies gravimétriques notées A et B, des terrains déstructurés. Ce qui tend à confirmer l'absence de vides sous la voirie départementale entre les deux passages sous route des carrières connues.

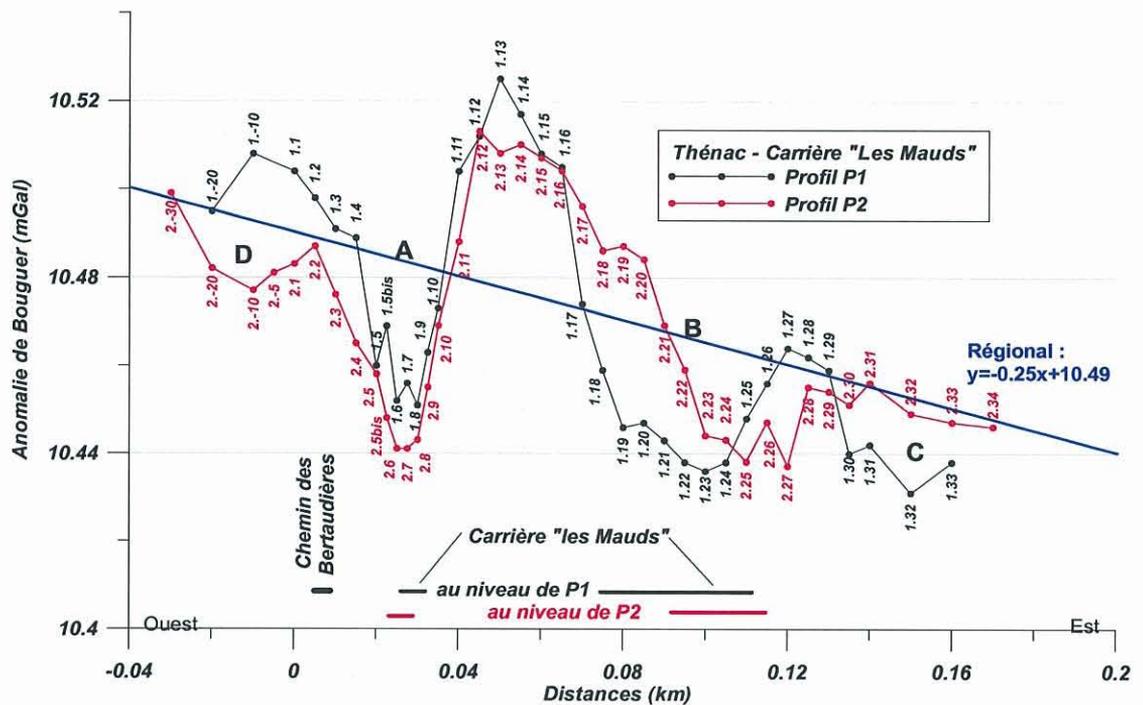
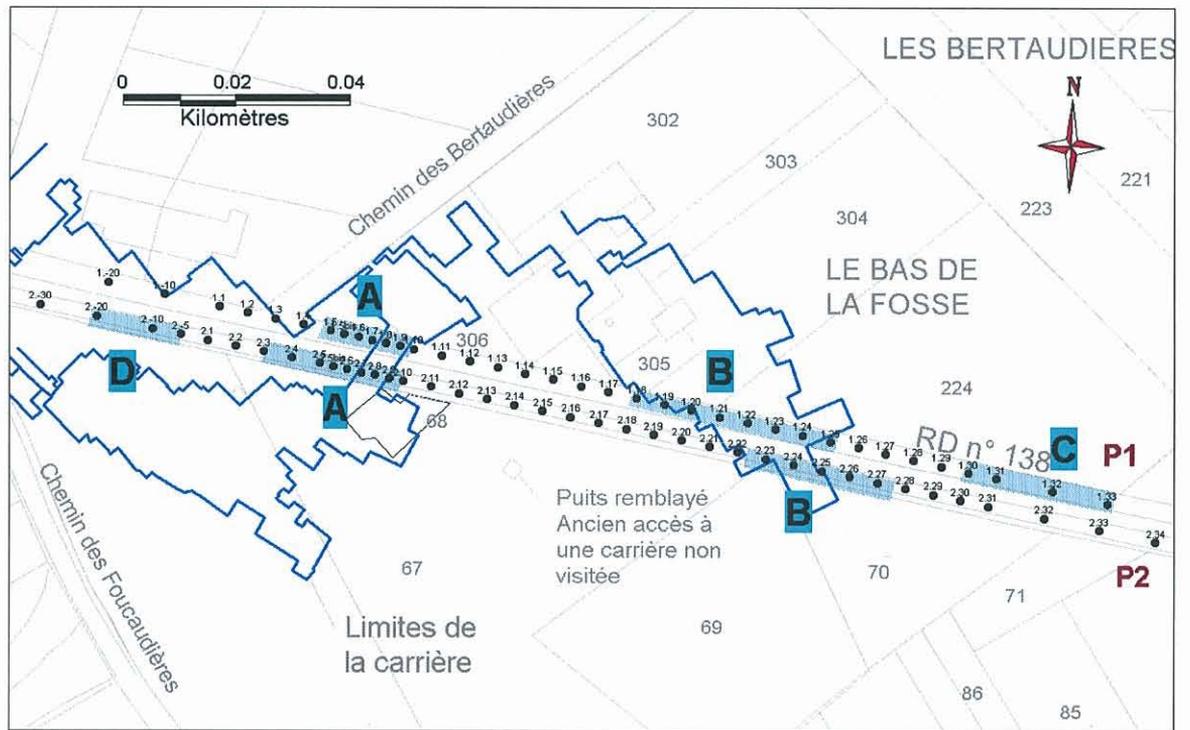


Illustration 10 – Commune de Thénac, carrière "Les Mauds" –
1) Situation des stations gravimétriques – 2) Profils des anomalies de Bouguer

c) Recommandations suite aux investigations géophysiques

Les résultats obtenus en couplant deux méthodes de géophysique (microgravimétrie et SASW) sur le site de Thénac indiquent qu'il n'y aurait pas de vides au niveau de la route départementale entre les zones de carrières répertoriées et cartographiées. Il n'apparaît donc pas nécessaire d'effectuer des sondages de contrôle.

3.3.2. Carrière "Les Mauds" secteur Sud-Est, visitée en 1999 -

Pour rappel, des extraits du rapport BRGM/RP-40814-FR de janvier 1999, décrivant la géométrie et les observations géotechniques effectuées dans cette partie de carrière souterraine lors des visites de 1999 sont présentés en annexe 2.

Cette carrière, de dimension importante comme noté en 1999, est pour sa partie non exploitée, qui nous intéresse ici, divisée en 3 secteurs que nous traiterons séparément (cf. Illustration 11) :

- un "quartier" au sud de la route départementale,
- un "quartier" au nord de la route départementale, côté est,
- et enfin une zone située au nord de la route départementale, côté ouest et qui borde l'exploitation encore active qui elle s'étend vers le nord.

a) "Quartier" au sud de la route départementale

Sur l'essentiel de sa surface, cette partie de la carrière "les Mauds Sud" ne concerne pas la RD138. Elle s'approche de l'aplomb de sa bordure sud puis le tangente uniquement dans sa partie nord-est. Contrairement au reste de la carrière, cette partie qui sous-cave la voirie ne comporte pas de désordres particuliers et est très peu concernée par la fracturation naturelle. Elle est prolongée vers le Nord-Nord-Est par une galerie qui passe sous la RD138 et donne accès à une chambre éloignée d'au moins 5 à 6 m de l'aplomb de la bordure de la route. Cette galerie, large de 5 m et haute de 3 m ne montre aucun signe d'instabilité. On n'y observe qu'une seule diaclase sous la route, mais elle n'est pas karstifiée et sa direction (sub-perpendiculaire à l'axe de la galerie) ne favorise pas la flexion des bancs de toit. Le recouvrement est d'environ 5,5 m sous la chaussée. La chambre à laquelle donne accès la galerie, au nord de la route, tangente le secteur de carrière exploité comme lieu de stockage des blocs de calcaire. On peut y pénétrer par une étroite fenêtre.

Néanmoins le reste de ce secteur au sud de la route départementale, présente de nombreux signes d'instabilité (fontis, écaillage au toit, fragilisation des piliers...). Bien que la manifestation en surface de désordres éventuels n'affecterait probablement pas la voirie départementale, il serait souhaitable de limiter au moins l'accès à la carrière à quiconque par la pose d'un portail par exemple ou d'un grillage. Il conviendrait également d'en surveiller l'évolution par des visites périodiques. Enfin, le puits et l'ancien fontis débouchant en surface n'ont pu être retrouvé dans le bois surplombant cette partie de la carrière du fait de l'importante végétation, essentiellement constituée de ronces. Il semble néanmoins, en observant ces

ouvertures depuis l'intérieur de la carrière, que ces vides soient protégés en surface mais il serait souhaitable de s'en assurer.

b) "Quartier" au nord, côté est de la route départementale

Cette salle traverse, pour l'extrémité de sa partie sud, la RD138.

Elle présente, comme noté en 1999, un important taux de défrètement et des piliers très élancés. On y constate une fracture de direction Ouest-Nord-Ouest – Est-Sud-Est longeant toute la partie sud de cette carrière. Cette exploitation s'est étendue le long de ce plan de fracturation sans le traverser, en raison des risques d'instabilité trop importants que cela comportait.

Certaines de ces fractures karstiques se situent immédiatement sous la route départementale avec notamment une remontée, de 2,60 m par rapport au toit de la carrière, qui laisse ainsi une épaisseur de recouvrement de 4,60 m environ à cet endroit.

c) Secteur au nord, côté ouest de la route départementale

Les levés du géomètre-expert montrent que cette partie de la carrière, contrairement aux levés de 1999, ne sous-cave pas la voirie départementale mais s'en approche à une distance de 1 à 3 mètres environ.

De plus ces bords de carrière, à proximité de la route départementale sont karstifiés dans la même direction que le "quartier" nord, côté est. Du fait des difficultés d'accès à cette zone, il n'a pas été possible de mesurer la hauteur de ces remontées karstiques. Les levés de géomètre indiquent néanmoins que l'épaisseur de recouvrement dans ce secteur est de l'ordre de 6 à 10 m.

d) Diagnostic géotechnique

Le secteur de carrière "les Mauds Sud" et la galerie transverse ne menacent pas à court/moyen terme la stabilité la RD138. Une inspection visuelle de la galerie et de son entrée sud devra être réalisée dans 5 ans.

La vidange des fractures karstiques notées dans le "quartier" au nord, côté est et dans le secteur au nord, côté ouest de la route va se poursuivre mais ne nécessite pas de travaux de confortement dans l'immédiat. La présence de blocs calcaire recouvrant le sol de toute la partie de la carrière, côté est et l'accès difficile du secteur nord, côté ouest rendent de plus malaisée toute intervention en carrière. Une inspection périodique - tous les 2 ans - de ces deux secteurs de la carrière devrait permettre d'en observer les signes d'évolution éventuelle.

LÉGENDE

Géométrie

	Front de taille
	Pilier
	Mur
	Détail de plafond
	Détail de sol
	Puits (eau)
	Puits d'accès

Surface

	Voirie
	Bâti

Géotechnique

	Fissure géologique
	Fissure géologique (de faible ouverture)
	Fissure mécanique
	Fissure mécanique (de faible ouverture)
	Chute de toit
	Décollement de toit
	Toit écaillé
	Zone karstique
	Fontis
	Pilier en état de post-rupture
	Pilier fracturé
	Pilier écaillé

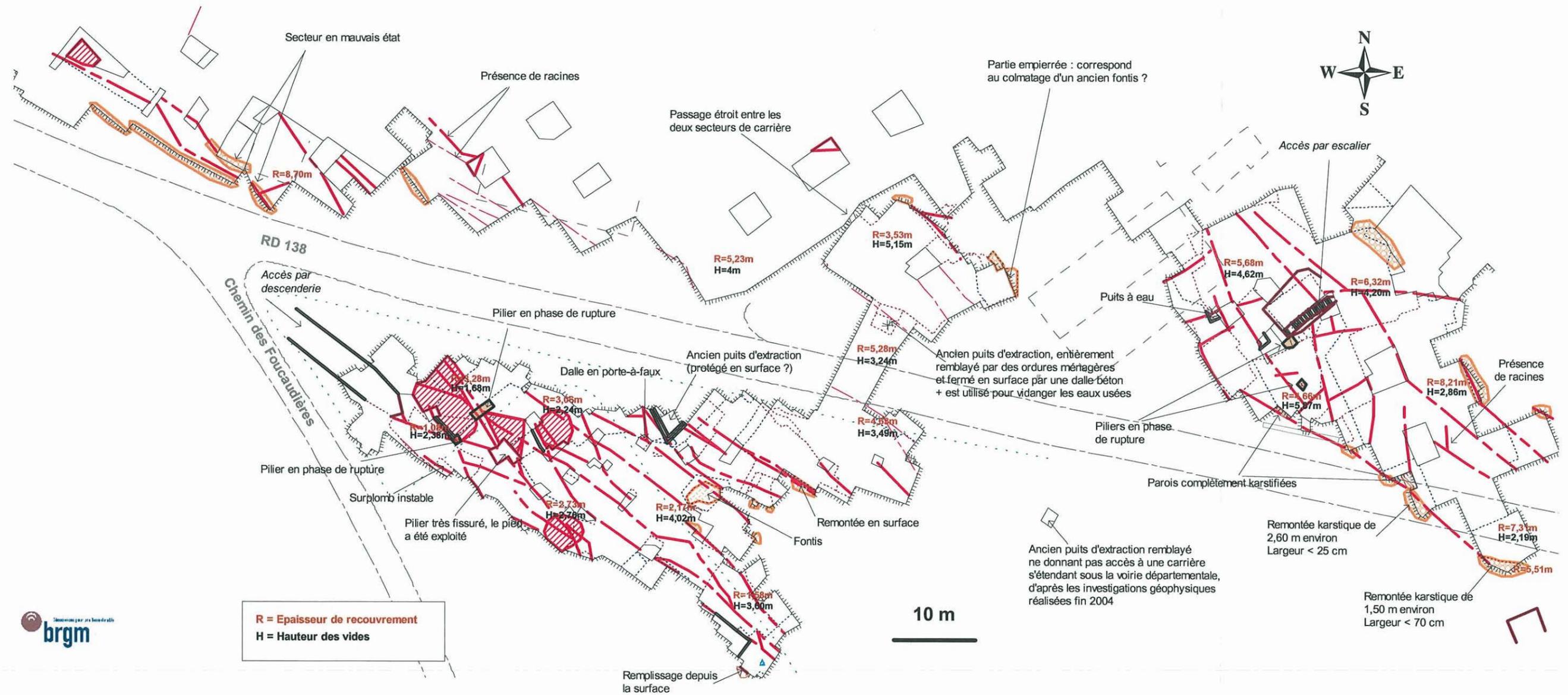


Illustration 11 - Carrière "Les Mauds" à Thénac – Relevés géotechniques sur fond de plan levé par un géomètre-expert

3.4. COMMUNE DE ST-GEORGES-DES-COTEAUX

3.4.1. Carrière Nord-Est

Il semble s'agir d'une cavité de faible extension, orientée grossièrement suivant un axe Nord-Nord-Est/Sud-Sud-Ouest. Elle présente une forme vaguement rectangulaire de 10 m de longueur par 7 à 8 m de largeur pour une hauteur d'au moins 2 m.

Les deux sondages ont débouchés dans des secteurs d'importance sensiblement équivalente du fait de la présence, en partie centrale des vides, d'un volumineux cône de matériaux, déversés depuis le puits central, remblayé actuellement en totalité. Le volume global des vides observés a été estimé par l'IGC à une centaine de mètres cubes.

Le tour d'horizon réalisé à la caméra depuis chacun des sondages SD1 puis SD2 n'a pas permis de mettre en évidence un départ de galerie vers quelque direction que ce soit. La coupe du sondage SD2 indique néanmoins une épaisseur de remblais de 1,5 à 2,0 m environ avant de rencontrer à nouveau les terrains calcaires. Ces remblais pourraient éventuellement obturer un départ de galerie. Aucun signe dans la morphologie du cône de matériaux au contact des parois de la cavité n'indique toutefois ce type de configuration (aucun indice de déversement des remblais vers un point bas situé en périphérie de salle n'a été observé).

Néanmoins, afin de s'assurer qu'aucun vide ne s'étendait sous la voirie départementale, un troisième sondage (SD3) a été réalisé dans le pied du talus, en bordure de la RD236 (en contrebas de la parcelle AP362) et à une distance d'environ 4 m de l'axe du puits remblayé. Cet ouvrage, dont l'altitude de la tête se situe environ 1,50 m plus bas que celle du sondage SD1, n'a rencontré aucun vide jusqu'à une profondeur de 8,60 m (base de l'ouvrage), soit à une altitude de 55,30 m NGF. Le toit de la cavité ayant été rencontré à des altitudes de 57,65 m sur le sondage SD1 et 59,35 m sur le sondage SD2, on peut en déduire qu'aucun départ de galerie n'affecte le côté Ouest-Nord-Ouest du puits remblayé.

3.4.2. Carrière Nord

a) Rappels des observations de terrain et pré-diagnostic de 1999

Pour rappel, des extraits du rapport BRGM/RP-40814-FR de janvier 1999, décrivant la géométrie et les observations géotechniques des 3 carrières souterraines visitées en 1999 sur la commune de St-Georges-des-Coteaux sont présentés en annexe 2.

b) Observations complémentaires

Les levés effectués par le géomètre-expert montrent que cette carrière sous-cave effectivement la RD236, comme indiqué par les levés de 1999 (cf. Illustration 12). Toutefois la route départementale n'est pas seulement sous-cavée sur la totalité de sa largeur au niveau de la seule partie sud de la carrière mais également sur toute la

longueur côté est de celle-ci. Comme remarqué par l'IGC, l'emprise de l'angle nord-est de la carrière présente bien un décalage vers l'est de près de 6 m par rapport aux levés de 1999.

LÉGENDE

Géométrie

	Front de taille
	Pilier
	Mur
	Détail de plafond
	Détail de sol
	Puits (eau)
	Puits d'accès

Surface

	Voirie
	Bâti

Géotechnique

	Fissure géologique
	Fissure géologique (de faible ouverture)
	Fissure mécanique
	Fissure mécanique (de faible ouverture)
	Chute de toit
	Décollement de toit
	Toit écaillé
	Zone karstique
	Pilier en état de post-rupture
	Pilier fracturé
	Pilier écaillé



Illustration 12 -- Carrière Nord à St-Georges-des-Coteaux – Relevés géotechniques sur fond de plan levé par un géomètre-expert

Une portion de la RD236 de 32 m de longueur environ est ainsi sous-cavée par la carrière Nord. Il faut également souligner que cette partie de la carrière ne possède aucun pilier à l'aplomb de la chaussée.

La hauteur moyenne des vides actuels varie de 50 cm à 2 m environ avec des hauteurs de galeries comprises entre 20-30 cm dans les secteurs remblayés, inaccessibles, comme la partie Ouest-Sud-Ouest de la carrière, jusqu'à 3,60 m pour les deux secteurs excavés de section 8 m x 4 m et 5 m x 3 m respectivement dans le coin NNO et en partie centrale du côté oriental de la cavité. Ces deux fouilles semblent avoir été creusés dans les remblais amoncelés au sol afin de prolonger l'exploitation dans ces directions. Mais le projet a été manifestement abandonné.

Les épaisseurs de recouvrement varient de 5 à 7 m.

Le sol de la carrière est composé d'environ 2 m de remblais constitués de déchets d'exploitation.

Cette carrière a été exploitée par la méthode des chambres et piliers. Sa superficie est d'environ 750 m² avec 5 piliers dont la section moyenne est de 2,5 à 3 m². Son taux de défrètement serait donc plus proche de 98 % que des 95 % estimés en 1999, ce qui est très élevé. Corrélativement les portées entre appuis peuvent atteindre localement 10 à 12 m (9 m sous la route départementale).

La réalisation du puits d'accès a provoqué aux abords de son débouché dans la carrière, une chute de toit de 60 cm d'épaisseur environ formant une ellipse d'approximativement 7 m x 5 m.

Deux piliers, celui bordant le bassin et celui immédiatement au nord-est de ce dernier, présentent de nombreuses fractures mécaniques qui traduisent leur état de surcharge. Un rapide calcul montre en effet que la contrainte en compression s'exerçant sur le pilier le plus proche du puits est voisine de 7 MPa, ce qui est beaucoup plus élevé que la résistance à la compression à long terme du calcaire local qui n'excède pas 5 MPa. Par ailleurs, entre ces piliers le premier banc de toit s'est fissuré par flexion. Les reports de charge dus à la déficience de ces piliers s'effectuent sur les autres piliers et les bords francs de la carrière, mais les portées entre appuis deviennent telles (16 à 22 m) que les autres piliers peuvent à leur tour périr par écrasement et les bancs de toit se rompre par flexion, comme on peut déjà l'observer entre les deux piliers sud-est. Un phénomène d'effondrement généralisé est à craindre dans cette carrière ; il en découlerait de graves désordres sur la RD236 et une partie de la propriété Loiseau.

On remarque également, dans le secteur ouest de la carrière, plusieurs fissures géologiques ayant joué mécaniquement.

La partie sud-ouest de la carrière, remblayée en quasi-totalité et donc inaccessible pour en apprécier les dimensions, pourrait se prolonger en direction de la maison de M. Loiseau. Côté sud de la carrière, un mur maçonné en pierres, prolongé par une sorte de rampe vers l'intérieur de la carrière, pourrait obturer la descenderie initiale ou la base du puits d'extraction.

c) Diagnostic géotechnique et recommandations

A l'aplomb de la RD236 la carrière pourrait s'effondrer brutalement à court ou moyen terme. Il convient donc de procéder à son confortement.

Vis-à-vis de la RD236, le comblement partiel – limité à la surface excavée pouvant avoir une influence sur la rue en cas d'effondrement - est la solution la plus indiquée compte tenu des relatives difficultés de circulation dans la cavité, mais la nécessité de remblayer jusqu'à l'alignement des trois piliers centraux, sous un domaine privé donc, va probablement imposer de créer un accès par puits au reste de la cavité, sur la propriété Loiseau.

Le volume à combler s'élève à environ 450 m³, auxquels il faut rajouter les 125 m³ de la citerne à eau. Cette dernière devra être comblée avec un matériau inerte pour préserver la qualité de l'eau de la nappe phréatique dans laquelle elle pénètre (tranche d'eau de 0,6 m le jour de la visite). Cette opération devra être menée en premier et la surface du comblement devra être recouverte d'une membrane étanche avant de procéder au remblayage du secteur de carrière concerné à l'aide d'un coulis de ciment très fluide injecté gravitairement dans des forages réalisés selon une maille de 4 m x 4 m (au niveau du toit de la carrière), sur le domaine public.

L'isolement du secteur à remblayer nécessitera la réalisation de 4 cloisons. Entre le pilier Sud et le fond de carrière, en arrière de la face ouest de la citerne, la "fenêtre" à obturer fait 6 m de long et 1,8 m de haut. Elle pourra l'être avec un mur en agglos renforcé horizontalement et verticalement. Entre le pilier sud et le pilier central, la "fenêtre" à obturer fait 6,1 m le long et 1,4 m de haut. Elle le sera de la même manière que la précédente. Entre le pilier central et le pilier nord puis entre le pilier nord et le fond de carrière, les "fenêtres" à obturer font respectivement 9,6 m et 3,4 m de long, mais leur hauteur est localement très réduite (0,5 m) du fait des surépaisseurs de remblais. Leur obturation pourra être réalisée en partie à l'aide d'agglos comme pour les précédentes, et lorsque la hauteur est faible, avec des moyens plus rustiques comme par exemple le colmatage avec des blocs de calcaire placés à la main et l'agrafage d'une feuille de polyane pour assurer l'étanchéité.

Si au moment des travaux la carrière apparaissait trop dégradée, il faudrait envisager de réaliser ces obturations depuis la surface, à l'aide de plots de coulis rigide injecté dans des forages. Un cahier des charges décrivant les différents travaux est joint en annexe 6.

En attendant que les travaux de comblement soient exécutés, la carrière doit faire l'objet d'un examen visuel semestriel, en commençant au sortir de l'hiver 2005-2006.

3.4.3. Carrière Sud-Ouest

a) Rappels des observations de terrain et pré-diagnostic de 1999

Pour rappel, des extraits du rapport BRGM/RP-40814-FR de décembre 1999, décrivant la géométrie et les observations géotechniques de cette carrière souterraine visitée en 1999 sont présentés en annexe 2.

b) Observations complémentaires

Les levés effectués par le géomètre-expert montrent que cette carrière, contrairement à ce qu'indiquaient les levés de 1999, ne sous-cave la route départementale que sur une longueur de 8 m côté nord (sur 0,5 m de largeur seulement) (cf. Illustration 13). Elle la longe de plus ou moins près (0 m à 2 m) sur le reste de son front de masse côté est.

L'ouverture moyenne de la carrière est de l'ordre de 2 à 3 m sauf localement où des montées de voûte (à proximité de l'ancien puits d'extraction remblayé, notamment) induisent des hauteurs de 5 m.

Les hauteurs de recouvrement varient quant à elles de 5 à 6 m en partie sud et atteignent 8 à 9 m au nord de la carrière. L'épaisseur du remblai qui masque le plancher est de l'ordre de 2 m (mis en évidence par le sondage préalable).

La superficie de la carrière est voisine de 1600m². Les 14 piliers ont une section moyenne de 3 m² environ soit un taux de défrètement de 97 % comme estimé lors du pré-diagnostic de 1999. Il en résulte une contrainte en compression moyenne dans les piliers de 5,6 MPa, supérieure donc à la contrainte en compression ultime théorique du calcaire local qui ne doit pas excéder 5 MPa. Ceci, ainsi que l'élancement excessif de certains piliers (moitié sud de la carrière en particulier) et surtout leur mauvaise répartition au sein de la carrière, qui induit des portées de toit non homogènes, explique leur état de fissuration de même que celui des bancs de toit.

c) Diagnostic géotechnique et recommandations

Il semble probable que cette carrière subira à moyen terme un effondrement généralisé - effondrement en chaîne de plusieurs piliers - au moins dans sa partie sud. Cependant nous pensons qu'un tel sinistre n'endommagerait que le bas-côté de la chaussée, lequel pourrait s'affaisser en provoquant une légère dénivelée qui serait ensuite aisément compensée, si nécessaire, par un apport de remblai.

Relativement à la route dans sa configuration actuelle, nous proposons donc de laisser cette carrière en l'état, ce qui obère par contre toute utilisation du terrain à son aplomb, mais de lui faire subir une inspection visuelle dans 3 ans, reconductible selon une périodicité qui dépendra de son évolution apparente.

LÉGENDE

Géométrie

-  Front de taille
-  Pilier
-  Mur
-  Détail de plafond
-  Détail de sol
-  Puits (eau)
-  Puits d'accès

Surface

-  Voirie
-  Bâti

Géotechnique

-  Fissure géologique
-  Fissure géologique (de faible ouverture)
-  Fissure mécanique
-  Fissure mécanique (de faible ouverture)
-  Chute de toit
-  Décollement de toit
-  Toit écaillé
-  Zone karstique
-  Pilier en état de post-rupture
-  Pilier fracturé
-  Pilier écaillé

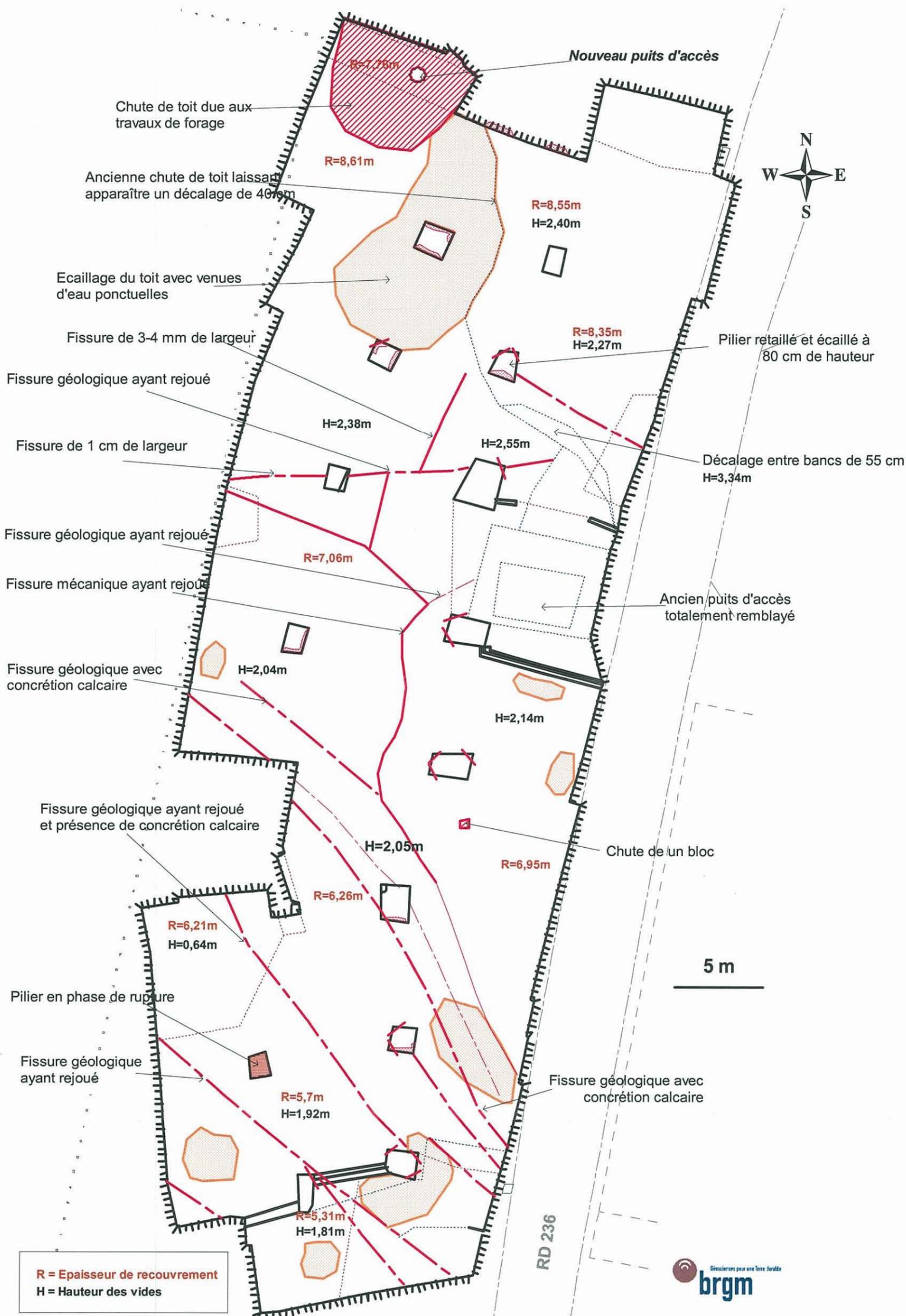


Illustration 13 - Carrière Sud-Ouest à St-Georges-des-Coteaux - Relevés géotechniques sur fond de plan levé par un géomètre-expert

4. Récapitulatif

Les conclusions et recommandations des investigations menées sur les carrières souterraines de Romegoux, St-Sulpice-d'Arnoult, St-Georges-des-Coteaux et Thénac sont résumées ci-après.

	Description investigations	Conclusion des investigations	Préconisations
Commune de Romegoux			
Les Genêts centre	Recherche par méthodes géophysiques de vides s'étendant sous la RD, près de deux puits remblayés	Pas de vide sous la route dans le prolongement des puits remblayés	Néant
St-Sulpice-d'Arnoult			
Pas du Fief	Recherche par méthodes géophysiques de vides s'étendant sous la RD, près de deux puits remblayés	Une anomalie non expliquée en bordure de RD	Anomalie à contrôler par sondages
Thénac			
Les Mauds Sud	Recherche par méthodes géophysiques de vides s'étendant sous la RD, près d'un puits remblayé	Pas d'anomalie traduisant la présence de vides sous la RD et entre les 2 passages des carrières connues	Néant
St-Georges-des-Coteaux			
Carrière Nord-Est	Réalisation de trois sondages dont deux avec inspection vidéo	Carrière de faible dimension ne s'étendant pas sous la RD mais la bordant	Carrière paraît en bon état d'après inspection vidéo et son effondrement éventuel aurait peu d'impact sur la RD
Nord	Réalisation d'un puits d'accès pérenne avec fermeture par cadenas	Carrière en mauvais état sous-cavant la RD sur toute sa largeur	Comblé la partie sous la RD et inspection dès la fin de l'hiver puis semestriel en attendant les travaux
Sud-Ouest	Réalisation d'un puits d'accès pérenne avec fermeture par cadena	Carrière avec un important taux de défrètement qui tend vers un effondrement généralisé à moyen terme, au moins pour sa partie sud	Faible impact sur la RD, pourrait provoquer la descente du talus : visite dans 3 ans

Bibliographie

Batkowski D. et Renault O. (2004) – Étude complémentaire de l'état de stabilité des carrières souterraines abandonnées situées sous les routes départementales en Charente-Maritime – Rapport n° 1 – Levé et pré-diagnostic de 3 carrières à Jonzac et à Vénérand – Rapport BRGM/RP-53117-FR, 27 p., 6 ill., 1 tab.

Bitri A., Debeglia N., Dupont F. et Batkowski D. (2005) – Étude complémentaire des carrières souterraines abandonnées situées sous les routes départementales en Charente-Maritime – Rapport n° 2 – Prospections microgravimétriques et sismiques (SASW) pour la détection d'éventuelles extensions de carrières sous voies départementales dans les communes de Romegoux, St-Sulpice-d'Arnoult et Thénac – Rapport BRGM/RP-53596-FR, 74 p., 20 ill., 3 ann.

Bourne G. (2005) – Sondages destructifs, Carrières de St-Georges-des-Coteaux, Rapport de sondages – Rapport ALIOS Ingénierie n° D 04/N103, 4 p., 6 ann.

Marchais E. (1996) – Inventaire des carrières souterraines abandonnées en Poitou-Charentes – Rapport R 38800, 38 p., 6 fig., 3 tab., 5 ann. hors texte

Mervaille S. (2005) – Vidéo en sondage, St-Georges-des-Coteaux, "Les Moulins de St-Georges" – Rapport de contrôle vidéoscopique en sondage IGC n° 17-CR O 64, 7 p., 4 pl. photo, 1 pl. hors texte

Vincent M. et Marchais E. (1998) – Cartographie de l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées sous les voies départementales en Charente-Maritime – Rapport R 40468, 34 p., 9 fig.

Vincent M. et Marchais E. (1999) – Caractérisation de l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées à proximité des voies départementales en Charente-Maritime – Compte-rendu de visite des carrières identifiées et choix des sites devant faire l'objet de levés détaillés – Rapport R 40632, 59 p., 14 fig.

Vincent M. et Marchais E. (1999) – Caractérisation de l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées à proximité des voies départementales – Rapport n° 3 – Localisation et pré-diagnostic des carrières les plus proches des voies départementales – Rapport R 40814, 69 p., 23 fig., 1 tab.

Annexe 1

Planches photographiques



Photo 1 – Carrière "Nord-Est, St-Georges-des-Coteaux" - Grutage de la sondeuse



Photo 2 – Carrière "Nord-Est", St-Georges-des-Coteaux - Mise en place d'un tubage PVC Ø120



Photo 3 – St-Georges-des-Coteaux - Installation Vidéo



Photo 4 – Carrière "Nord-Est", St-Georges-des-Coteaux - Sondage SD1, vue vers l'ouest



Photo 5 – Carrière "Nord", St-Georges-des-Coteaux - Sondage SD4, vue vers le Nord-Ouest



Photo 6 – Carrière "Sud-Ouest", St-Georges-des-Coteaux - Sondage SD5, vue vers le Sud-Sud-Ouest



Photo 7 – Réalisation du puits de Ø 1000 - Taillant

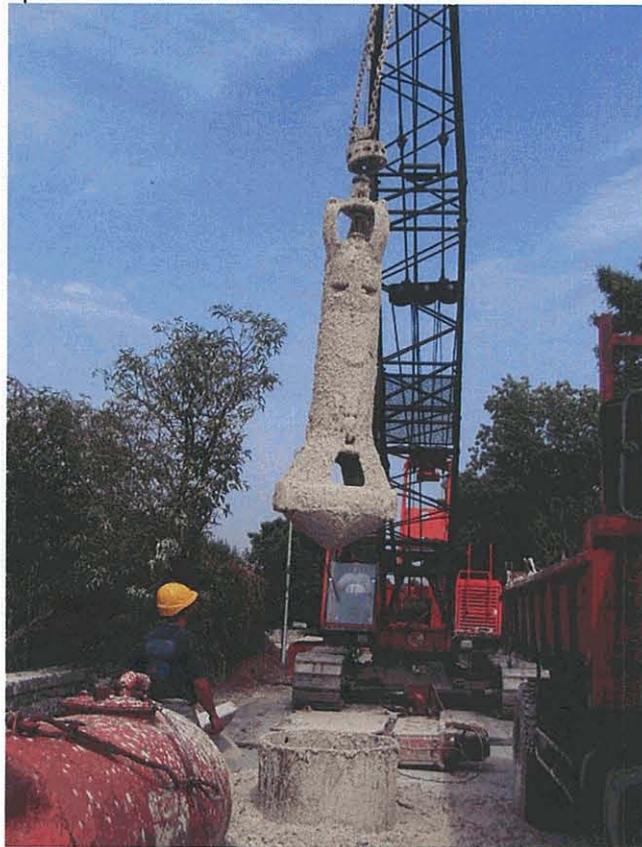


Photo 8 – Réalisation du puits de Ø 1000 – Benne-preneuse



Photo 9 - Réalisation du puits de Ø 1000 – Vibro-fonçage du tubage métallique



Photo 10 – Intérieur du tubage du puits de Ø 1000



Photo 11 – Carrière "Nord", St-Georges-des-Coteaux - Vue de l'échelle d'accès



Photo 12 – Carrière "Nord", St-Georges-des-Coteaux - Partie murée et bord du bassin (vers le sud)



Photo 13 - Carrière "Nord", St-Georges-des-Coteaux – Bassin et carrière

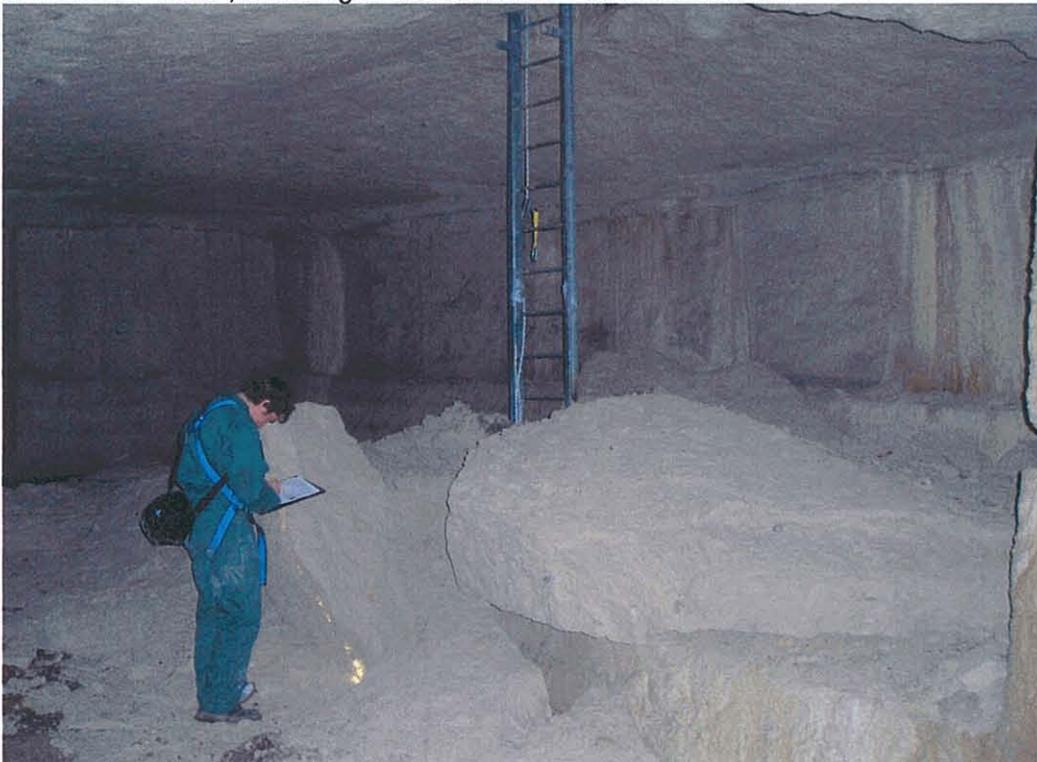


Photo 14 – Carrière "Sud-Ouest", St-Georges-des-Coteaux – Echelle d'accès et blocs au sol, suite à la réalisation du puits



Photo 15 – Carrière "Sud-Ouest", St-Georges-des-Coteaux – Ancien puits d'accès remblayé



Photo 16 – Carrière "Sud-Ouest", St-Georges-des-Coteaux – Fissure mécanique



Photo 17 – Carrière "Les Mauds" sud RD, Thénac – Entrée au sud de la RD avec anciennes chutes de blocs



Photo 18 – Carrière "Les Mauds" sud RD, Thénac – Ancien fontis



Photo 19 – Carrière "Les Mauds" sud RD, Thénac – Ancien puits d'extraction totalement remblayé



Photo 20 – Carrière "Les Mauds" nord RD, Thénac – Pilier à bras très élancé



Photo 21 – Carrière "Les Mauds", nord RD, Thénac – Bord de carrière sous la route, karstifié et cassé



Photo 22 – Carrière "Les Mauds", nord RD, Thénac – Vue d'ensemble

Annexe 2

Extraits du rapport BRGM/RP-40814-FR de décembre 1999

Extrait du rapport BRGM R40814 "Caractérisation de l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées à proximité des voies départementales – Rapport n°3 – Localisation et pré-diagnostic des carrières les plus proches des voies départementales" - Vincent M. et Marchais E.

4. Commune de Saint-Georges-les-Coteaux

4.1 LOCALISATION DES CARRIERES VISITEES

La phase précédente de l'étude avait mis en évidence la présence de quatre carrières souterraines abandonnées situées de part et d'autre du carrefour entre la RD 326 et le Chemin de Courpéteau (voie communale), ainsi qu'une carrière située au sud du bourg, à proximité de l'impasse de la Fontaine. Cette dernière est éloignée d'une trentaine de mètres de la RD 127 et n'a pas fait l'objet de relevés spécifiques dans le cadre de la troisième phase de l'étude, laquelle concerne donc uniquement les quatre carrières situées à proximité du carrefour, au lieu-dit « Les Moulins de Saint-Georges ».

La localisation de ces quatre carrières sur le plan cadastral (sections AP, ZO et ZL) est indiquée sur la figure 7. La carrière dite « Sud-Ouest » se trouve au sud du carrefour et en bordure ouest de la RD 326. La carrière dite « Sud-Est » se situe à l'ouest du carrefour et en bordure nord du chemin de Courpéteau. La carrière dite « Nord-Ouest » est au nord-ouest du carrefour, relativement éloignée de la RD 326. Quant à la carrière dite « Nord », elle s'étend au nord du carrefour, en bordure ouest de la RD 326.

Une cinquième carrière, dite « Nord-Ouest » s'étend sous la parcelle AP 362, à l'est de la RD 326, sensiblement en face de la rue de l'église, soit légèrement au nord-ouest de la carrière dite « Nord ». L'accès à cette carrière se faisait par un puits d'extraction situé dans le jardin de Monsieur Jean-Claude Drugeon (parcelle AP 362), à quelques mètres de la RD 326. Ce puits a été entièrement remblayé par déversement d'ordures et il ne subsiste qu'un léger affaissement en surface mais **tout accès à la carrière a désormais disparu**. Le puits d'eau situé de l'autre côté de la route, à l'entrée de la propriété de Monsieur Loiseau (parcelle AP 314), donne accès à la carrière dite « Nord », mais ne communique pas avec la carrière « Nord-Ouest », comme il était espéré. **La carrière « Nord-Ouest » n'a donc pas pu être exploré et rien ne permet d'indiquer si elle s'étend ou non sous la RD 326**. Des méthodes d'investigations complémentaires par forage sont donc à prévoir pour permettre de circonscrire l'extension de cette carrière.

Aucun plan de l'ensemble de ces carrières n'a pu être retrouvé dans les archives. Toutes ces carrières exploitent un calcaire blanc grisâtre d'âge Santonien, localement riche en nodules siliceux.

4.2. CARRIERE « LES MOULINS DE SAINT-GEORGES SUD-OUEST »

4.2.1 Localisation et extension des zones sous-cavées

Cette carrière souterraine abandonnée, située à l'ouest de la RD 326, s'étend sous la parcelle cadastrale ZO 41 à l'est du lieu-dit « Le bar des vignes ». Cette parcelle appartient à Monsieur Marcel Gadève et est occupée en surface par une friche.

L'extension de la carrière, telle qu'elle a pu être établie par levés sommaires à la boussole et au décamètre, est indiquée sur la figure 7. **Les levés montrent que la limite est des vides débordé légèrement de l'aplomb du bord de la RD 326, mais ne semble pas dépasser l'axe de la chaussée.** La maison (appartenant à Monsieur Michel Machefert) située de l'autre côté de la route, sur les parcelles AP 322 et 304, se trouverait au plus près à 5 m de l'aplomb des zones sous-cavées. Au nord, les vides s'arrêtent en bordure de l'aplomb du chemin rural carrossable (emprunté par des engins agricoles). A l'est, la carrière ne s'étend pas au delà de la limite de la parcelle 41 (la parcelle adjacente, n°40, étant occupée par une prairie).

L'accès principal à cette carrière se faisait par une descenderie située dans le quart sud-ouest de la parcelle 41 (fig. 8). Cette descenderie est désormais entièrement remblayée et n'est plus visible en surface. **Le seul accès reste un ancien puits d'extraction situé au centre de la carrière,** à quelques mètres du bord de la RD 326, près d'un poteau électrique, en face de la maison de Monsieur Machefert. Ce puits est protégé par une clôture grillagée (largement symbolique) le long de la route. **Il a été presque entièrement comblé par déversement de gravats et ordures, de telle sorte que l'accès à la carrière est devenu très malaisé.**

4.2.2 Observations de terrain et pré-diagnostic

L'exploitation est de type « chambres et piliers ». La carrière, qui a été utilisée comme champignonnière, est désormais vide et inutilisée. La hauteur de défilage était probablement de 5 m, mais la hauteur actuelle des galeries est de l'ordre de 2 à 2,20 m (jusqu'à 0,50 m dans les parties les plus basses) du fait des déchets d'exploitation accumulés au sol. L'épaisseur de recouvrement au droit du puits est d'environ 6,50 m mais elle est difficile à déterminer précisément du fait des décrochements et chutes de toit qui se sont produits en périphérie immédiate du puits. Cette épaisseur semble sensiblement constante sur toute l'étendue de la carrière.

La superficie totale de la carrière est estimée à 1 670 m². **La section moyenne des piliers est de 3,3 m², ce qui est très faible.** La largeur moyenne des galeries varie entre 6 et 8 m, avec des portées maximales atteignant localement 9 à 10 m. **Le taux de défrètement (rapport entre la surface des vides et la surface totale de la carrière) est particulièrement élevé puisqu'il s'élève à 95 %.**

Les principales observations effectuées sur le terrain apparaissent sur le plan de la figure 8. **Le toit de la carrière est parcouru par plusieurs fissures mécaniques ouvertes,** dont une située dans l'axe de la carrière et qui se prolonge sur une trentaine de mètres de longueur. L'ouverture de certaines fissures mécaniques atteint 5 à 10 mm. Plusieurs chutes des premiers banc de toit se sont déjà produites, atteignant localement 1 m d'épaisseur (en bordure du puits d'extraction). De nombreuses infiltrations d'eau se produisent au toit de la carrière, particulièrement en limite nord de celle-ci, aux abords d'une zone affectée par une chute du premier banc de toit.

Quatre piliers au moins (sur 14 au total, que compte la carrière), présentent des fissures mécaniques visibles. Ces piliers sont tous situés dans la partie sud de la carrière, là où le taux

de défrèvement est le plus élevé (97 %) et la section des piliers la plus faible (2,2 m² en moyenne). Les fissures sont subverticales et ouvertes surtout en partie supérieure des piliers.

Ces observations indiquent que la stabilité de la carrière à moyen ou long terme n'est pas assurée. Des ruptures successives par flexion de la dalle de toit sont à craindre, se traduisant par de nouvelles chutes de toit, susceptibles de se propager de proche en proche jusqu'à la surface. Par ailleurs, la fissuration mécanique importante des piliers situés dans la moitié sud de la carrière montre qu'**une rupture en compression des piliers les plus chargés n'est pas à exclure**. En effet, la contrainte moyenne en compression régnant dans les piliers y est de l'ordre de 4,3 MPa, alors que la résistance ultime en compression de ce type de calcaire est évaluée à 5 MPa.

Or, en cas de rupture totale d'un pilier, la charge est reportée sur les piliers voisins qui risquent de céder à leur tour sous l'effet de la surcharge, ceci pouvant se traduire par une **rupture généralisée et brutale de la carrière** (qui, ici, affecterait vraisemblablement au moins la partie sud de la carrière), ce qui pourrait entraîner des désordres au niveau de la route, du fait de sa grande proximité.

Etant donnée la nature du risque encouru par la RD 326, une étude approfondie de stabilité de cette carrière est préconisée, à l'issue de laquelle il sera possible de déterminer s'il convient de procéder au confortement de la carrière ou si des mesures de surveillance périodique sont suffisantes.

4.3 Carrière « Les Moulins de Saint-Georges Nord »

4.3.1 Localisation et extension des zones sous-cavées

Cette carrière souterraine abandonnée s'étend en bordure ouest de la RD 236, entre le chemin de Carpéteau et la rue de l'église (fig. 7), au sud-est du lieu-dit « Le Moulin du bourg ». L'accès se faisait autrefois probablement par une descenderie située dans l'angle sud-ouest de la carrière, mais la zone a été entièrement remblayée et l'entrée n'est plus visible (fig. 10). **Le seul accès à la carrière est désormais un puits d'eau** situé en limite sud de la carrière, à quelques mètres de la RD 326, dans la cour d'entrée de la maison de Monsieur Loiseau (parcelle AP 314). La visite de la carrière s'est faite par descente dans ce puits, **avec l'aide de la section des pompiers du GRIMP** (Groupe de Recherche et d'Intervention en Milieu Périlleux) de Saintes, le 3 septembre 1999.

Les levés effectués indiquent que la carrière s'étend sous les parcelles AP 309 et 314 (appartenant à Monsieur Loiseau), toutes deux clôturées et occupées en surface respectivement par une prairie et la cour de la maison. **La bordure est de la carrière empiète néanmoins sous la RD 326, surtout au sud où les zones sous-cavées semblent s'étendre sous toute la largeur de la chaussée** (sachant que la précision des levés est de quelques mètres). La distance entre la carrière et l'aplomb des maisons habitées les plus proches est de 6 à 7 m. Aucune communication n'est visible avec la carrière située au nord-ouest, sous la parcelle AP 362.

4.3.2 Observations de terrain et pré-diagnostic

L'exploitation est de type « chambres et piliers ». La carrière est désormais vide et inutilisée. La hauteur de défilage était probablement d'au moins 4 m, mais la hauteur actuelle des galeries varie entre 1 et 3 m du fait des déchets d'exploitation accumulés au sol. Près du puits a été creusé un bassin dont le fond se situe à 6,30 m sous le sol de la carrière (le niveau d'eau est à 6 m par rapport au sol de la carrière).

L'épaisseur de recouvrement mesurée dans le puits est de 6,10 m. Elle est sensiblement constante sur toute la surface de la carrière.

La superficie totale de la carrière est estimée à 640 m². **La section moyenne des piliers est de 3,3 m², ce qui est très faible.** Les portées maximales entre appuis atteignant localement 9 à 10 m. **Le taux de défrètement (rapport entre la surface des vides et la surface totale de la carrière) est particulièrement élevé puisqu'il atteint 95 %.**

Les principales observations effectuées sur le terrain apparaissent sur le plan de la figure 10. Le toit de la carrière est parcouru par plusieurs fissures géologiques, plus ou moins colmatées, dont certaines semblent avoir rejoué sous l'effet de contraintes mécaniques (ouverture atteignant localement 5 cm). Des infiltrations (d'eau et de purin) se font le long de la paroi, dans l'angle nord-ouest de la carrière, par l'intermédiaire de ces fractures.

Une importante fissure mécanique (ouverture 1 à 2 mm) découpe le premier banc de toit sur une longueur de 20 m, dans l'axe entre deux piliers. Cette fissure s'arrête actuellement à l'aplomb de la RD 326. Des chutes du premier banc de toit, de faible ampleur, se sont déjà produites, sous la RD 326, dans le prolongement de cette fissure. Une autre fissure mécanique, plus courte, découpe le toit entre deux piliers, plus au sud, et une amorce de décollement du premier banc de toit a été observée à proximité.

Les deux piliers les plus proches du puits présentent des fissures mécaniques ouvertes (fissures de cisaillement diagonales) et des phénomènes d'écaillage de surface, ce qui témoigne d'une charge verticale dépassant la résistance intrinsèque en compression.

Ces observations indiquent que la stabilité de la carrière à moyen ou long terme n'est pas assurée. De nouvelles chutes de toit sont susceptibles de se produire, provoquant un amincissement progressif de la dalle de toit. Par ailleurs, la fissuration mécanique importante de certains piliers montre qu'une rupture en compression n'est pas à exclure, ce qui pourrait se traduire par une **rupture généralisée et brutale de la carrière, susceptible d'entraîner des désordres au niveau de la RD 326, du fait de sa grande proximité.**

Etant donnée la nature du risque encouru par la RD 326, une étude approfondie de stabilité de cette carrière est préconisée, à l'issue de laquelle il sera possible de déterminer s'il convient de procéder au confortement de la carrière ou si des mesures de surveillance périodique sont suffisantes.

4.4 Carrière « Les Moulins de Saint-Georges Nord-Ouest »

4.4.1 Localisation et extension des zones sous-cavées

Cette carrière souterraine abandonnée se situe au nord-ouest du carrefour entre la RD 236 et le chemin de Carpéteau, au sud-est du lieu-dit « Le moulin du bourg » (fig. 7). Elle s'étend

essentiellement sous les parcelles AP 315 et 316, appartenant à Monsieur René Loiseau. L'accès se fait par une descenderie située au centre de la carrière, sur la parcelle AP 315. L'entrée est libre, mais se trouve dans un terrain privé et clôturé, derrière la maison de Monsieur Loiseau. Deux anciens puits d'extraction, situés au centre de la carrière ont été remblayés par déversement de terre et ne sont plus visibles en surface (fig. 11).

Les levés effectués indiquent que les zones sous-cavées se situent au plus près à 25 m du bord de la RD 326, mais s'arrêtent sensiblement à l'aplomb de la maison de Monsieur Loiseau. Les anciens hangars qui figurent sur le cadastre (parcelle AP 316) au dessus de la carrière sont désormais détruits. Les terrains situés au dessus de la carrière sont occupés en surface par des prés, tous clôturés.

4.4.2 Observations de terrain et pré-diagnostic

L'exploitation est de type « chambres et piliers ». La carrière est désormais vide et inutilisée. La hauteur de défilage était probablement d'au moins 5 m, mais la hauteur actuelle des galeries varie entre 1,50 et 2,50 m du fait des déchets d'exploitation accumulés au sol.

La superficie totale de la carrière est estimée à 1 260 m². La section moyenne des piliers est de 4,6 m², ce qui est relativement faible. Les portées maximales entre appuis atteignant localement 10 m. **Le taux de défruitement (rapport entre la surface des vides et la surface totale de la carrière) est particulièrement élevé puisqu'il atteint 95 %.**

Etant donnée la distance de cette carrière à la RD 326 et l'absence d'enjeux particuliers en surface, elle n'a pas fait l'objet d'observations géotechniques spécifiques en vue d'évaluer son état de stabilité.

7. Commune de Thénac

7.1. LOCALISATION DES CARRIERES VISITEES

Il s'agit d'un ensemble de carrières souterraines abandonnées situées au nord-est de la RD 138, sous le hameau des Mauds, à l'ouest du bourg de Thénac. Ces carrières exploitent des calcaires compacts, à grains fins, du Turonien moyen. La superficie totale des zones sous-cavées est de l'ordre de 13 hectares.

Il est à noter qu'une partie de ces carrières est encore en cours d'exploitation en souterrain, par la société Carrières de Thénac et de Saintonge, laquelle est en possession de plans concernant une partie des zones sous-cavées et notamment les plus proches de la RD 138. Ce plan est un recollement à l'échelle 1/1 000 de fragments de plans levés par différents exploitants. Il est malheureusement très imprécis pour ce qui concerne les zones situées à proximité immédiate de la route départementale. Seules ces zones les plus proches de la RD 138 ont fait l'objet de levés de détail dans le cadre de la présente étude.

7.2 CARRIERE « LES MAUDS » (ZONE SUD-EST)

7.2.1 Localisation et extension des zones sous-cavées

La présente étude ne concerne donc qu'une infime partie du vaste ensemble de carrières souterraines s'étendant à proximité du hameau des Mauds. Seule l'extrémité sud-est de ces carrières a fait l'objet d'investigations spécifiques, dans la mesure où c'est a priori la seule zone où les galeries traversent sous la RD 138. Plus à l'ouest, les carrières souterraines semblent s'étendre exclusivement au nord de la RD 138 et restent à une distance plus importante de l'aplomb de la route. La zone concernée par la visite se situe au lieu-dit « Le Bas de la Fosse », au carrefour avec une voie communale asphaltée (Chemin des Foucaudières) qui conduit aux ateliers des Carrières de Thénac et de Saintonge, situés au sud-est.

La zone ayant fait l'objet de levés s'étend de part et d'autre de la RD 138 (appelée localement route de Retaud). Au nord, elle correspond à une bande d'une longueur totale d'environ 200 m et d'une largeur moyenne d'une trentaine de mètres (fig. 22). Au sud, elle comprend une petite carrière isolée qui est reliée aux reste des carrières par une galerie s'étendant sous la route.

Cette carrière située au sud de la RD 138 s'étend au lieu-dit « Les Foucaudières », sous les parcelles cadastrales AV 67 et 68, entre la RD 138 et le Chemin des Foucaudières. Les terrains de surface sont boisés le long de la RD 138, sauf à l'extrémité est de la carrière où les anciens bâtiments de la parcelle 68, désormais démolis, ont fait place à une zone de décharge (dans laquelle circulent occasionnellement des camions venus décharger des gravats). La partie sud de la parcelle 67 est cultivée en surface. Les deux parcelles concernées par la carrière (AV 67 et 68) appartiennent à Monsieur René Machefert.

Les levés topographiques effectués par le BRGM indiquent que les zones sous-cavées s'étendent jusqu'à l'aplomb de la bordure du Chemin des Foucaudières et s'arrêtent à

quelques mètres seulement du bord de la RD 138, laquelle est sous-cavée sur une longueur de 5 m par une galerie qui relie cette carrière aux autres situées au nord de la RD 138.

L'accès à cette carrière sud se fait par une descenderie, partiellement envahie par la végétation et dont l'entrée se situe à proximité du carrefour entre le RD 138 et le Chemin des Foucaudières. Cette descenderie conduit à une bouche de cavage dont l'entrée est libre. **Deux anciens puits d'extraction** ont été repérés au sud de la RD 138. Le premier est situé dans un bosquet, à **6,50 m du bord de la route**, en face d'un chemin empierré, dit Chemin des Bertaudières. Des ordures ont été déversées dans ce puits mais il n'a pas été entièrement comblé et l'accès à la carrière est toujours possible par ce puits, **dépourvu de toute protection en surface.**

Un second puits est situé à l'est du précédent, à 8 m du bord de la route, dans la zone utilisée comme décharge (parcelle AV 67). Ce puits a été remblayé par déversement d'ordures, jusqu'à une profondeur de 2 m environ, et est également **dépourvu de toute protection en surface.** Il donnait vraisemblablement accès à une autre carrière indépendante de la précédente et qui de ce fait est devenue totalement inaccessible, sauf à vider le puits d'extraction. **Cette carrière n'a donc pas pu être visitée et son extension par rapport à la RD 138 n'est pas connue.**

En ce qui concerne les carrières situées au nord de la RD 138, on distingue trois ensembles distincts communicant entre eux (et avec la carrière sud) mais de manière malaisée du fait des blocs entassés en travers des galeries de communication. La partie ouest correspond au chantier en cours d'exploitation. On y accède par une descenderie dont l'entrée se situe à 200 m environ à l'ouest du carrefour entre la RD 138 et le Chemin des Foucaudières. La descenderie (qui passe sous une arche en pierre particulièrement instable, puis au dessus d'un niveau inférieur de carrières souterraines en mauvais état) conduit à une bouche de cavage ouverte (l'accès à la descenderie est cependant fermé aux véhicules).

Cet ensemble s'étend en bordure nord de la RD 138, au lieu-dit « Les Bertandries ». Les entrées se situent sur la parcelle cadastrale AN 252, appartenant en indivision à Messieurs Michel et Jean Sidoine . La partie ayant fait l'objet de levés s'étend sous les parcelles bâties AN 26 (appartenant en indivision à Messieurs François, Jean et Michel Vignaud), 316 (propriétaires : M. et Mme James Mercier) et 317 (appartenant à Monsieur Amadeo Magnani). **Trois maisons habitées et un chemin carrossable empierré** (Chemin des Bertaudières) se trouvent au dessus de zones sous-cavées. Les terrains de surface sont boisés près des entrées et occupés par des pelouses ailleurs. Les levés topographiques réalisés indiquent que les zones sous-cavées ne s'étendent pas sous la RD 138 mais en bordent l'aplomb sur une distance d'environ 110 m.

La partie est, située au lieu-dit « Le Bas de la Fosse », correspond à une chambre à laquelle on accède par un puits d'extraction de grandes dimensions (4,50 m x 6,60 m), ouvert dans un pré clôturé, à proximité de la maison de Monsieur Diesnis (parcelles AN 302 et 305). Ce puits est ouvert en surface (aplomb de l'ordre de 12 m) et est équipé d'un escalier permettant l'accès aux carrières. Un autre puits, de 1m de diamètre, protégé en surface par une margelle recouverte d'une tôle est situé devant la maison sur la parcelle AN 302, et donne également accès aux carrières. Ce puits descend jusqu'à la nappe phréatique dont le niveau est situé à 11 m sous le sol de la carrière.

Les levés effectués par le BRGM montrent que cette partie de la carrière s'étend sous la RD 138 qui est entièrement sous-cavée sur une quinzaine de mètres de longueur. La partie nord de la maison (parcelle AN 302) est également sous-cavée. Le reste de la carrière s'étend sous des terrains occupés en surface par une pelouse et des prés.

Entre ces deux zones se trouve une petite chambre reliée directement à la carrière sud par la galerie qui traverse la route. Cette chambre s'étend sous la parcelle AN 306 (appartenant à Mme Linette Nouveau), à l'ouest du lieu-dit « Le Bas de la Fosse », entre le Chemin des Bertaudières et la maison de Monsieur Diesnis. Les terrains de surface sont occupés par une pelouse. Un ancien puits d'extraction se trouve à 4,50 m seulement du bord de la RD 138, à l'extrémité de la galerie qui traverse la route. **Ce puits a été entièrement comblé par déversement d'ordures ménagères** et est protégé en surface par un regard en béton muni d'une trappe de visite.

7.2.2 Observations de terrain et pré-diagnostic

L'exploitation est de type « chambres et piliers ». La carrière située au sud de la RD 138 aurait été exploitée à la fin du siècle dernier (à partir de 1897, selon une inscription en paroi), puis utilisée comme champignonnière. Elle est désormais vide et inutilisée. Les parties situées au nord de la RD 138 datent vraisemblablement de la même époque mais ont été partiellement réexploitées depuis et de nombreux blocs non commercialisables jonchent le sol de la carrière en plusieurs endroits.

La hauteur actuelle des galeries est très variable (fig. 23). Dans la carrière située au sud de la route, elle est en moyenne de 2,50 m près des entrées et augmente progressivement vers l'est jusqu'à atteindre 4,20 m au maximum (du fait d'un approfondissement du sol de la carrière). Une petite cave annexe, proche du chemin des Foucaudières a été presque entièrement remblayée et la hauteur de vide n'y dépasse pas 50 cm. Au nord de la RD 138, la hauteur des galeries est en moyenne de 3,50 à 3,60 m, sauf dans la chambre située la plus à l'est (« Bas de la Fosse ») où la hauteur de dépilage est estimée à 6,50 m (mais avec une épaisseur de remblais atteignant par endroits plus de 2 m, sous forme de gros blocs).

L'épaisseur de recouvrement dans les parties situées sous la RD 138 n'a pas pu être mesurée avec précision. Pour la carrière sud, elle est de l'ordre de 2 m à 2,50 m, aussi bien au droit de l'entrée qu'au niveau du puits d'extraction laissé ouvert. Un fontis (de 3 à 4 m de diamètre) s'est formé à proximité de ce puits, par suite du débouillage d'une poche d'argile. **L'épaisseur de recouvrement au droit de ce fontis est de 2 m et la dalle calcaire ne mesure pas plus de 30 cm d'épaisseur par endroits. Ce fontis, ouvert à une quinzaine de mètres de la RD 138, au milieu d'une zone boisée, ne bénéficie d'aucune protection en surface.**

Au nord de la RD 138, l'épaisseur de recouvrement varie entre 2,50 et 3,50 m au droit des entrées. Elle atteint 6 à 7 m dans le puits d'extraction situé au « Bas de la Fosse », à une quinzaine de mètres de la RD 138.

La superficie de la partie ayant fait l'objet de levés spécifiques couvre environ 4 300 m². En ce qui concerne la partie située au sud de la RD 138, **la section moyenne des piliers ne dépasse pas 2 m², ce qui est excessivement faible.** La largeur moyenne des galeries est de 4 à 5 m (5 m pour la galerie qui traverse sous la route), avec des portées maximales entre appuis

atteignant localement 7 à 8 m. **Le taux de défrètement** (rapport entre la surface des vides et la surface totale de la carrière) **est particulièrement élevé puisqu'il est de l'ordre de 92 %.**

Quant à la chambre située au « Bas de la Fosse » et qui s'étend en partie sous la RD 138, la section moyenne des piliers y atteint $5,6 \text{ m}^2$, pour un taux de défrètement légèrement inférieur, autour de 90 %. La largeur moyenne des galeries est de 5 à 6 m, avec des portées maximales entre appuis atteignant localement 8 à 9 m.

De nombreux phénomènes karstiques affectent l'ensemble de la carrière, de part et d'autre de la RD 138. Un fontis important a été repéré, à une quinzaine de mètres seulement au sud de la route. Trois autres déboussages de poches karstiques importantes ont été identifiées au toit de la carrière. Celui situé le plus au sud a probablement occasionné la formation d'un fontis ancien désormais remblayé. Les deux autres sont situées respectivement à 6 et 12 m du bord sud de la chaussée et se traduisent par des montées de voûte de 1 à 2 m. La présence de racines abondantes au toit laisse penser que **le déboussage peut conduire à la formation de fontis en surface.** Par ailleurs, la dalle de toit et certains piliers (surtout dans la partie sud de la carrière) sont affectés de **fractures géologiques karstifiées** qui en réduisent considérablement la résistance. Certaines de ces fractures (notamment près des entrées nord de la carrière) semblent **avoir rejoué sous l'effet de contraintes mécaniques.**

La dalle de toit est affectée de plusieurs chutes des premiers bancs, localisées surtout à proximité des entrées, tant au sud qu'au nord de la route. L'une de ces chutes de toit a provoqué un **effondrement total de la dalle entre deux piliers**, à une dizaine de mètres seulement de l'accès utilisé pour l'exploitation actuelle. **Une fissure importante de la dalle de toit** a par ailleurs été observée dans la chambre du « Bas de la Fosse », quasiment à l'aplomb du bord de la RD 138. L'ouverture maximale de cette fissure atteint 10 cm et le rejet vertical de part et d'autre s'élève localement à 4 cm. La présence toute proche d'un pilier à bras (blocs de pierre empilés dans la partie supérieure pour soutenir le toit) laisse penser que des manifestations d'instabilité se sont déjà produites dans cette zone lors de l'exploitation.

Enfin, des **fissurations mécaniques** de piliers et de certaines parties saillantes de la paroi ont été notées, en particulier près de l'entrée sud de la carrière, mais également **au travers d'un pilier situé en bordure immédiate de l'aplomb de la chaussée**, au sud du « Bas de la Fosse ». De telles fissures mécaniques traduisent une charge verticale excessive par rapport à la résistance de la roche, et constituent des signes précurseurs d'une rupture brutale de la carrière.

L'ensemble de ces observations tend à indiquer que **la stabilité de cette carrière n'est pas assurée à long terme.** Des **effondrements localisés de la dalle de toit ainsi que la formation de fontis par suite du déboussage de poches d'argile localisées** sont à prévoir. **Etant donnée la proximité des vides avec la RD 138, il est préconisé de procéder à une étude plus approfondie** (levé topographique détaillé et relevé complet de fissuration, en vue de permettre un diagnostic géotechnique fiable) **des parties les plus proches de la route, et tout particulièrement de la chambre située au sud du « Bas de la Fosse ».** Une telle étude devra permettre de déterminer si des travaux de confortement sont nécessaires ou si une simple surveillance régulière de cette carrière, sous forme de visites périodiques, est suffisante.

Par ailleurs, **il est indispensable de mettre en place une protection de surface efficace** (par clôture grillagée) au moins **autour du fontis et du puits d'extraction situés au sud de la RD**

138. Enfin, il est recommandé de procéder au **curage du puits d'extraction qui semble donner accès à une carrière souterraine indépendante** pour laquelle il n'a pas été repéré d'autre entrée (à moins qu'une enquête approfondie ne permette de recueillir d'autres informations à ce sujet). Il est d'ailleurs recommandé de **curer également le puits situé au nord de la RD 138** pour en extraire les ordures dont la présence est de nature à provoquer une pollution des eaux souterraines.

Annexe 3

Gravimétrie

A - PRINCIPE DE LA MÉTHODE

La prospection gravimétrique consiste à déterminer les anomalies de la pesanteur occasionnées par l'inégale répartition des densités dans le sous-sol. Ces anomalies représentent la différence entre la valeur de l'accélération de la pesanteur, g , mesurée et corrigée des causes de variations connues, et une valeur normale, g_0 , que l'on observerait si la terre était homogène. La microgravimétrie est une application de la gravimétrie au domaine de la sub-surface, avec des profondeurs d'investigation qui varient généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Très utilisée dans le domaine du génie civil pour la recherche de cavités et des désordres associés, la microgravimétrie est une méthode non destructive et légère, qui peut être mise en œuvre par un seul opérateur. Elle n'est pas perturbée par les effets électromagnétiques environnants et peut donc être utilisée en milieu urbain ou industriel.

Pour mesurer g , on utilise des appareils appelés gravimètres, dont le principe se ramène à celui du peson à ressort, soit une masse accrochée à l'extrémité inférieure d'un ressort vertical. Le poids de la masse est équilibré par la tension du ressort, elle-même proportionnelle à son élongation. Les variations de g se traduiront par des variations de longueur du ressort que l'on mesurera.



Figure 1 – Gravimètre Scintrex CG5.

Les faibles amplitudes des anomalies gravimétriques des effets de sub-surface recherchés rendent nécessaire une grande précision des mesures, de l'ordre de 5 à 10 microgals ($1 \text{ microgal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$). Cette précision implique un mode opératoire soigné permettant en particulier un contrôle régulier du comportement instrumental du gravimètre : fréquents retours sur une base de référence pour la détermination de la dérive, au moins 20 % de reprises de mesure pour l'estimation de la précision. Pour être significatifs, les résultats des mesures gravimétriques doivent également être très précisément corrigés de toutes les causes de variations de g (marées, altitude, latitude, relief et bâtiments proches) qui ne sont pas liées à la structure et à la composition du sous-sol (Debeglia et Dupont, 2000, 2002). Afin de permettre ces corrections, l'altitude relative de chaque station doit être mesurée au cm près par nivellement de précision et la latitude relative doit être connue au mètre près.

Pour chaque station de mesure, on calcule l'anomalie de Bouguer, B , dont l'expression est la suivante :

$$B = g + c \cdot Z + T - g_0$$

- où **g** est la valeur de g mesurée à la station, corrigée des variations luni-solaires (marées) et de la dérive instrumentale,
- Z** est l'altitude en mètres,
- c** est un coefficient de correction, fonction de la densité **d** des terrains superficiels,
- T** est la correction de relief (ou topographique),
- g₀** est la valeur normale de la pesanteur sur l'ellipsoïde terrestre supposé homogène.

L'interprétation des résultats se fait à partir de la carte de l'anomalie de Bouguer ou mieux, à partir d'une carte de l'anomalie résiduelle ou du gradient vertical. Les variations de l'anomalie de Bouguer sont dues à la somme de tous les effets gravifiques du sous-sol, correspondant à la fois aux structures géologiques profondes ou régionales et aux hétérogénéités superficielles et locales, liées aux structures recherchées. Ces phénomènes superficiels provoquent des variations de courte « longueur d'onde », se manifestant par des contours à faible rayon de courbure, qui peuvent être en partie masqués par les grandes tendances régionales.

Les cartes d'anomalie résiduelle et de gradient vertical ont pour but de ne conserver que ces seules variations, par soustraction des effets régionaux de grande longueur d'onde, sans intérêt en considération de l'objectif de l'étude. Cette interprétation conduit à une analyse des anomalies gravimétriques (signe positif ou négatif, amplitude, longueur d'onde, direction d'allongement, axes), à une différenciation entre corps lourds et légers et à une estimation de la profondeur de ces corps.

La microgravimétrie est une méthode reconnue comme adaptée à la recherche de cavités. Ces cavités sont plus facilement détectables lorsqu'elles sont vides que lorsqu'elles sont dans l'eau, le contraste de densité étant plus grand ($d = 0$ pour l'air, $d = 1$ pour l'eau). Une cavité remblayée, même partiellement, peut par contre devenir indétectable. À contraste de densité égal, l'amplitude de l'anomalie créée par une hétérogénéité de densité est proportionnelle à son volume et en fonction inverse du carré de sa distance.

Une étude de faisabilité destinée à vérifier que les objets recherchés seront à l'origine d'anomalies ayant une amplitude supérieure à la précision de la méthode est donc nécessaire avant d'entreprendre une campagne gravimétrique. Elle est réalisée à l'aide de simulations quantitatives qui permettent de prédire les effets attendus. Cette étude de faisabilité permet également de définir un dispositif de mesure (maillage et extension de l'étude) adapté aux objectifs de la campagne.

Les stations sont généralement réparties selon un maillage régulier, carré ou rectangulaire. Pour qu'une structure soit décelable, il faut qu'elle influence plusieurs points de ce dispositif avec une amplitude supérieure à l'incertitude de mesure. Si la maille est trop large, certaines structures (les plus petites ou les plus superficielles) ne seront pas détectées. Si le dispositif est trop fin, on aura une surabondance d'information qui n'améliorera pas les résultats mais augmentera le coût de l'étude (approximativement proportionnel au nombre de stations). Le choix d'un dispositif optimal est donc essentiel.

L'influence d'une cavité se traduit en gravimétrie par une anomalie négative, mais il est évident que toutes les anomalies négatives présentes sur une carte ne sont pas forcément attribuables à la présence de cavités. Les variations lithologiques (sur épaisseur de couverture sableuse ou argileuse, remblais de matériaux alluvionnaires, zones d'altération ou de fissuration de faible densité) provoquent également des anomalies négatives qu'il n'est

pas possible de distinguer *a priori* de celles produites par les cavités franches. Pour cette raison, une anomalie gravimétrique négative jugée significative doit toujours être suivie d'un contrôle par sondages pour lever cette indétermination.

B - MICROGAL, un logiciel pour l'exploitation des données de micro-gravimétrie en milieu urbain

L'application de la gravimétrie à la détection de cavités souterraines repose sur la mesure extrêmement précise des variations relatives de la gravité à la surface du sol, variations qui reflètent les hétérogénéités de densité du sous-sol et, plus particulièrement, les déficits de densités provoqués par la présence de vides éventuels. Les anomalies gravimétriques attendues ont une amplitude généralement faible comparée à la précision des mesures qui, compte tenu des différentes causes d'erreur qui les affectent, peut être estimée à 5 à 10 microgals (1 microgal = 10^{-8} m/s²).

Outre les vides recherchés, les mesures gravimétriques sont également influencées par la topographie, par diverses hétérogénéités géologiques comme les variations de profondeur du substratum ou la présence de zones décomprimées et, en milieu urbain, par les bâtiments, caves, infrastructures et revêtements divers présents sur le site. L'interprétation finale sera d'autant plus fiable que les mesures auront été réalisées selon un protocole soigné et que les éléments perturbateurs auront pu être inventoriés de manière détaillée afin d'être corrigés le plus précisément possible. Des algorithmes permettant d'isoler les anomalies susceptibles d'être causées par une cavité des effets perturbateurs d'origine anthropiques ou géologiques sont également nécessaires.

Mis au point en 1997 et 1998 dans le cadre de l'activité de recherche et développement du BRGM, MICROGAL (fig. 2 à 4) est un logiciel pour PC destiné à réaliser, sur le terrain, les corrections, traitements et interprétations nécessaires à l'exploitation des mesures microgravimétriques.

Microgal assure les fonctions suivantes :

- gestion des études gravimétriques incluant la production d'éléments statistiques directement intégrables dans les rapports d'exécution, tel que l'histogramme des reprises et l'estimation de l'incertitude ;
- gestion des gravimètres : étalonnage, dérive ;
- gestion des données permettant d'importer, d'éditer, de modifier et d'exporter les données gravimétriques utilisées ou produites par la procédure de traitement et d'interprétation ;
- visualisation et impression des profils, des cartes ou des graphes gravimétriques ;
- calcul de l'anomalie de Bouguer ;
- changement de densité de correction, profils de Nettleton ;
- corrections topographiques ;
- correction des effets perturbateurs des bâtiments ou de diverses structures artificielles :
 - en gravimétrie de surface, pourront être ainsi pris en compte les effets des différentes constructions et infrastructures et les effets des structures enterrées, caves et galeries connues,
 - en gravimétrie souterraine, les effets de la forme des galeries et puits dans lesquels sont réalisées les mesures pourront être ainsi calculés ;
- interprétation des données (résiduelles, gradient vertical).

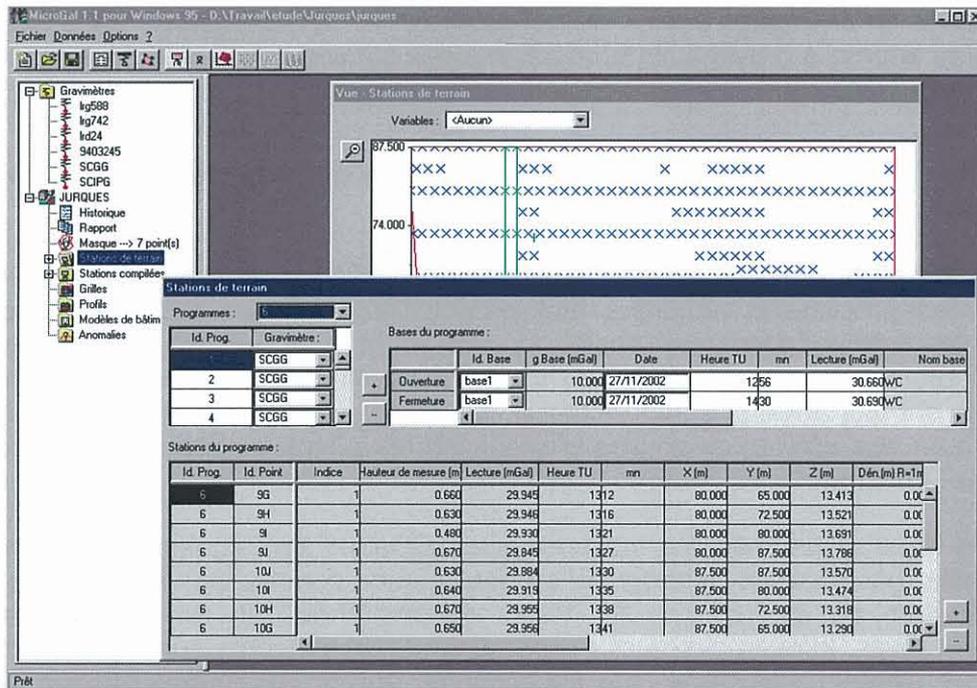


Figure 2 - Fenêtre de saisie des programmes de mesures et carte des stations.

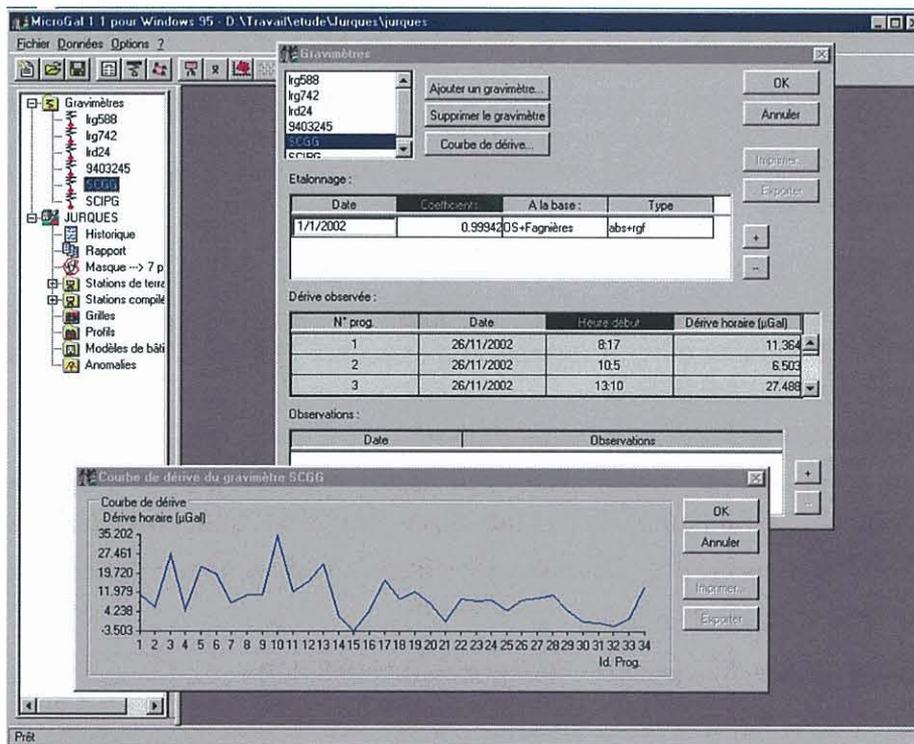


Figure 3 - Fenêtre de gestion des gravimètres et courbe de dérive d'un gravimètre.

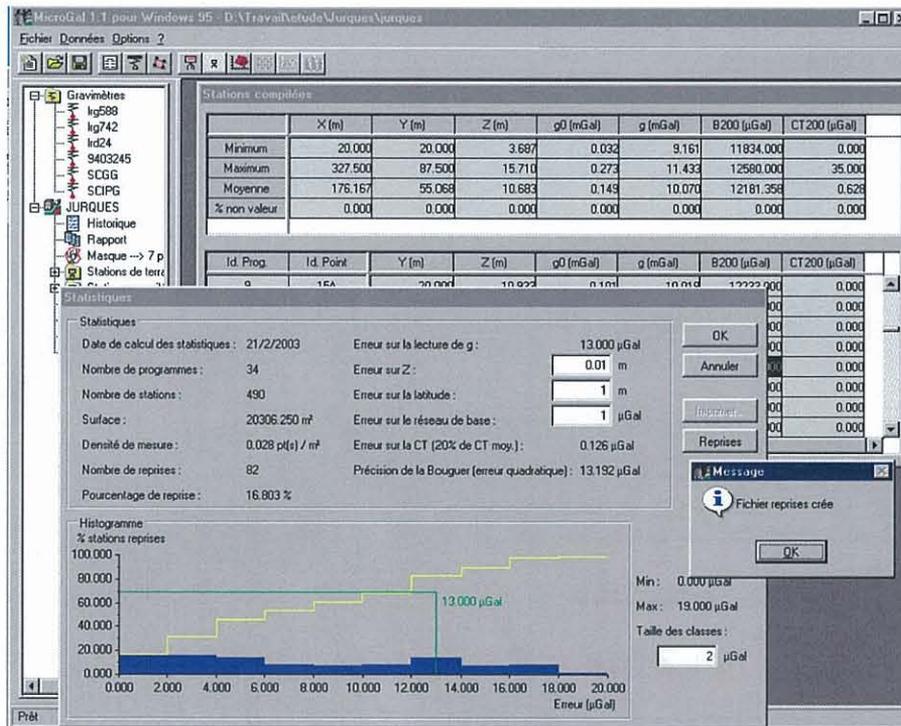


Figure 4 - Statistiques et histogramme des écarts.

Exemple de traitements

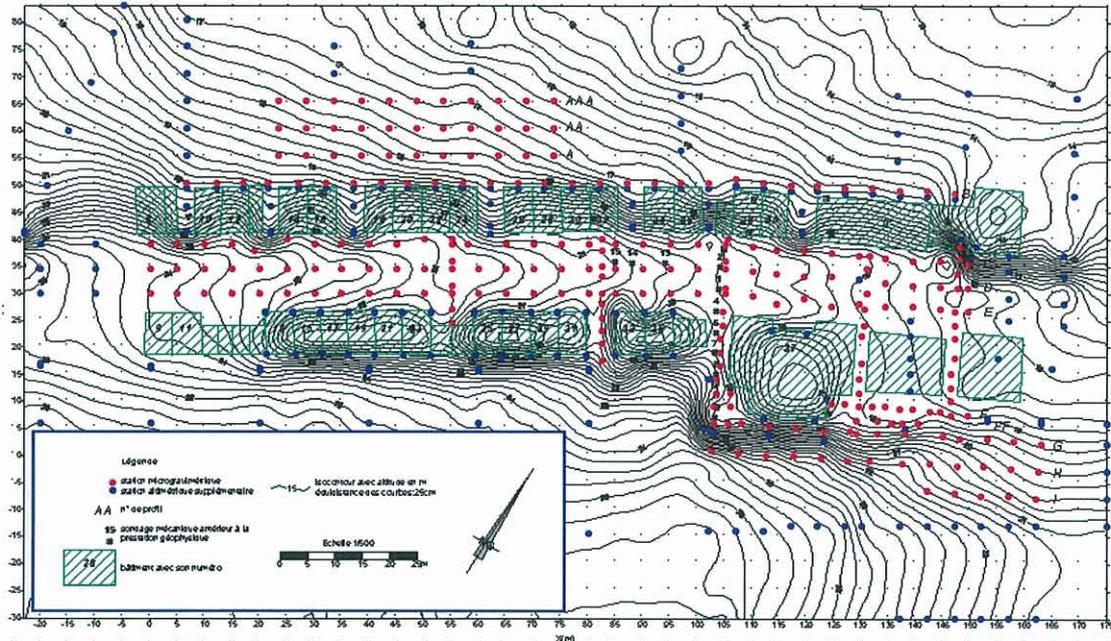


Figure 5 - Un site urbain caractérisé par une forte topographie et par la présence de nombreux bâtiments.

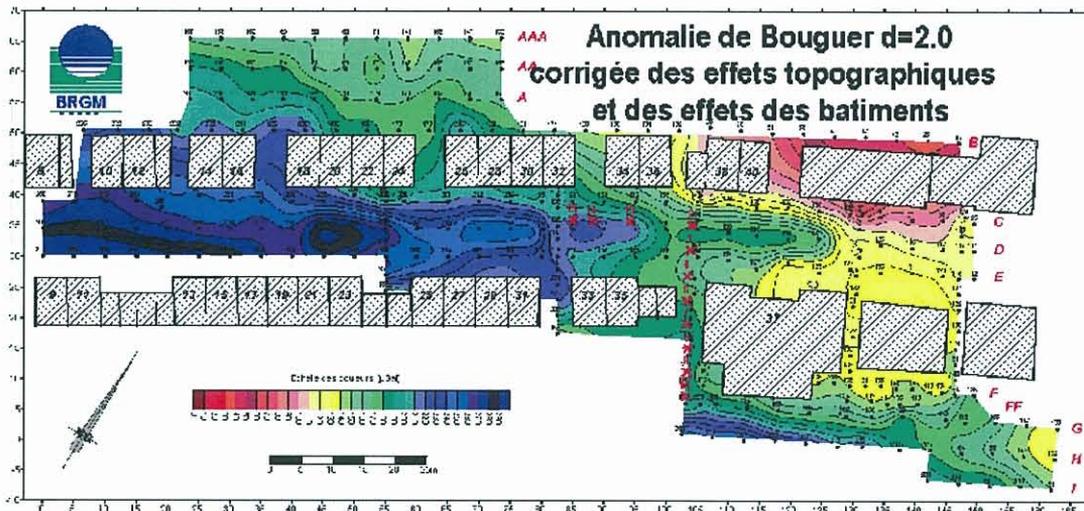


Figure 6 - MICROGAL permet de corriger les mesures des effets de la topographie et des bâtiments.

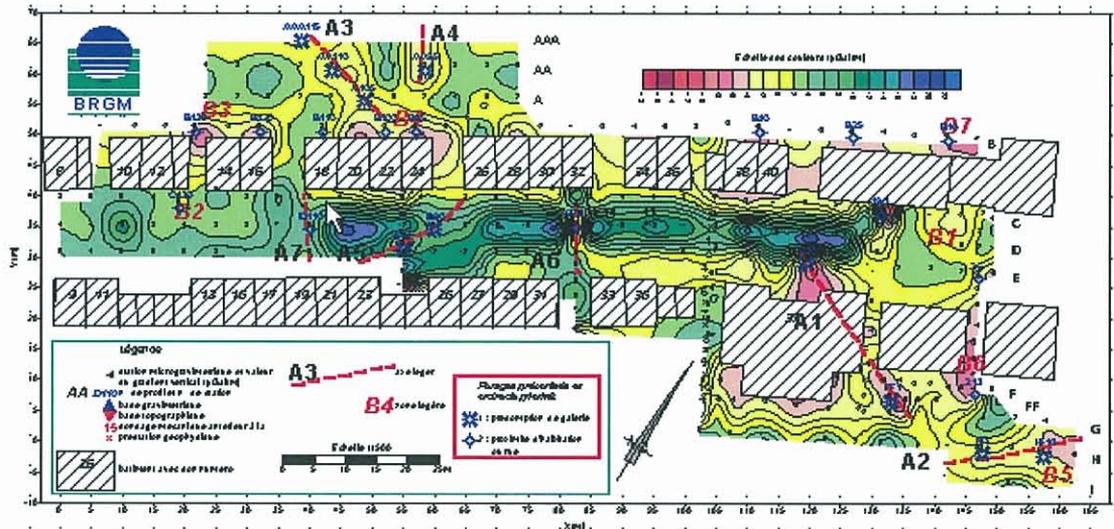


Figure 7 - Les traitements (gradient vertical) permettent de préciser la localisation des galeries et fontis.



Quelques cas pratiques

- Test sur le trajet du futur Tramway à Orléans (ANTEA).
- Localisation d'anciennes exploitations souterraines de charbon à la Chapelle-sous-Dun (DRIRE Bourgogne).
- Localisation de galeries sous des bâtiments militaires en voie de restructuration (ANTEA – Conseil général de l'Orne).
- Localisation de galerie de mine et fontis à Moyeuve-Grande (DRIRE Lorraine).
- Mise en évidence d'une buse enterrée (site test DR de Jargeau).
- Détection de galeries et fontis sur le site d'une ancienne exploitation de gypse à Chelles (Mairie de Chelles par l'intermédiaire du SGR Ile-de-France).
- Localisation de galeries d'une ancienne mine de fer à Jurques (GEODERIS Caen).

Références

Debeglia N., Dupont F. (2002) - Some critical factors for engineering and environmental microgravity investigations. *Journal of Applied Geophysics*, 50, vol. 4, p. 435-454.

Debeglia N., Dupont F. (2000) - Métrologie microgravimétrique pour l'aménagement. Rapport BRGM/RP-50256-FR.

Annexe 4

Principe de la méthode SASW

Les ondes sismiques de surface, telles que les ondes de Rayleigh, se propagent parallèlement à la surface du sol, dans sa partie superficielle. Ce sont donc des ondes hétérogènes qui se propagent horizontalement et s'atténuent selon la profondeur. Chaque composante fréquentielle de l'onde se propage dans une épaisseur de terrain différente, les plus hautes fréquences se retrouvent dans les parties les plus superficielles.

Dans les milieux stratifiés où chaque couche du sous-sol est caractérisée par des propriétés mécaniques différentes, l'onde de surface est dispersive : la vitesse de propagation varie avec la profondeur, et donc avec la fréquence. C'est cette propriété qu'exploite la méthode SASW.

Le calcul de la vitesse de cisaillement en fonction de la profondeur est basé sur l'inversion de la courbe de dispersion qui présente les variations de la vitesse de phase de l'onde de Rayleigh en fonction de la fréquence. Les principales étapes de ce calcul sont les suivantes (fig. 1) :

- acquisition d'un tir sismique, la source et la série de capteur étant alignées sur une partie du profil ;
- calcul des diagrammes de dispersion ;
- digitalisation du diagramme pour obtenir la courbe de dispersion (variation de la vitesse de phase en fonction de la fréquence) ;
- inversion de la courbe de dispersion afin d'obtenir un modèle de vitesse de cisaillement $V_s(z)$ et le facteur de qualité des sols. Pour cette étape, un modèle initial est estimé empiriquement, puis un algorithme de type moindre carré amorti assure la convergence vers la meilleure solution constituant le modèle final.

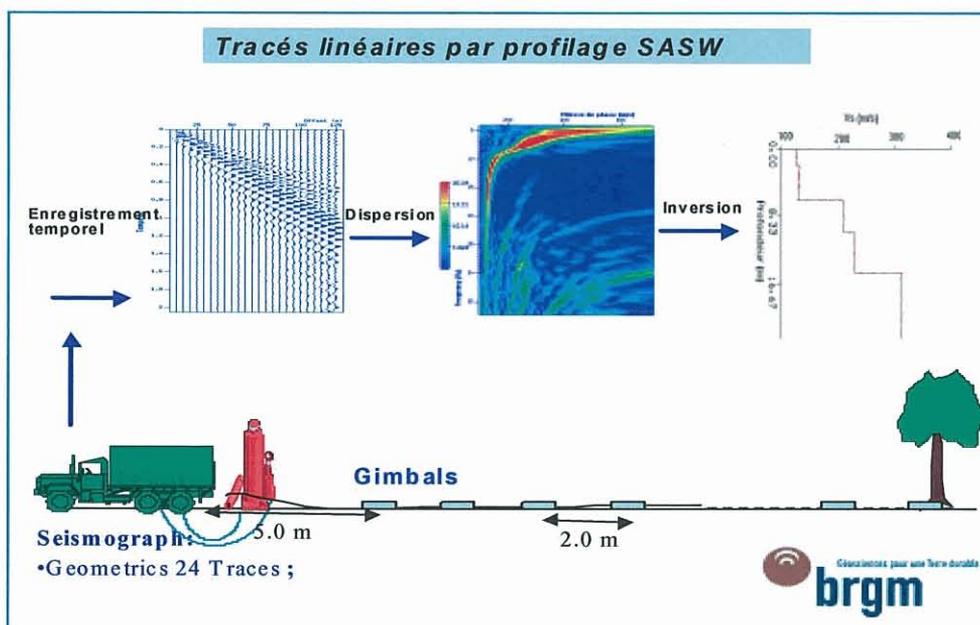


Fig. 1 - Principe de la méthode SASW

Imagerie en Ondes de Surface

Parallèlement à l'inversion de la vitesse de phase, il est possible de traiter les données dans le but d'obtenir un profil en ondes de surface. Un tel profil permet d'imager les zones de propriétés mécaniques « faibles » telles que les zones décompactées par des travaux de déblais/remblais ou la formation de fontis.

On utilise alors la chaîne de traitements mise au point au BRGM pour la détection de cavités souterraines. De la même façon qu'en sismique réflexion, les mesures sont réalisées en couverture multiple afin d'optimiser le rapport signal-sur-bruit : en déplaçant la source le long de la ligne de géophones, on acquiert une succession de tirs sismiques. De la même façon qu'en sismique réflexion, des corrections dynamiques sont appliquées sur chaque tir.

On tient cependant compte ici des phénomènes de dispersion en évaluant les vitesses de phase à partir des diagrammes de dispersion. La vitesse de phase, calculée en fonction de la fréquence, permet de corriger le déphasage dépendant de l'offset. Une fois tous les signaux ramenés à un offset nul, les traces sont sommées par récepteur commun dans le domaine temporel. On obtient alors un profil en onde de surface.

La figure 2 montre un exemple d'application de combinaison de la sismique SASW et de la gravimétrie pour la reconnaissance de drains karstiques en amont du Parc Floral de la Source (Loire). Le réseau karstique et les perturbations qu'il induit en surface se manifestent par une anomalie gravimétrique négative (a), liée à la présence de vides et de terrains décomprimés, et par une atténuation de la continuité des marqueurs sismiques (b), due à la fracturation de l'épikarst. Le réseau karstique perturbe le champ vitesse V_s (c) en introduisant des inversions de vitesses.

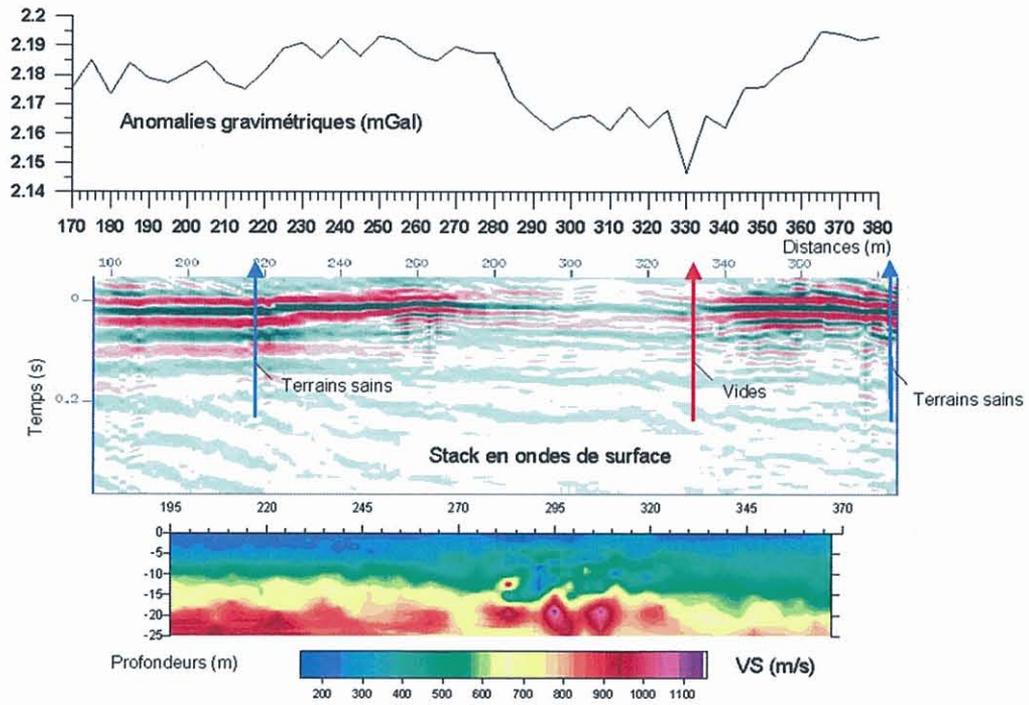


Fig. 2 - Reconnaissance des drains karstique par sismique SASW et gravimétrie en amont du Parc Floral de la Source et contrôle par sondages : a- anomalie gravimétrique, b- imagerie en ondes de surface, c- coupe de vitesse Vs.

Annexe 5

Copie du rapport de sondages ALIOS

SONDAGES DESTRUCTIFS

CARRIERES SOUTERRAINES



SAINT GEORGES DES COTEAUX (17)

Indice	Date	Intitulé	Rédaction	Relecture	Nb. Pages + annexes
0	24/01/2005	Rapport initial	G. BOURNE	P. DONY	14

DOSSIER GB/CB · N°D 04/N103

CHAURAY, le 24 JANVIER 2005

ALIOS Ingénierie

BORDEAUX
Av. Ferdinand de Lesseps
Z.A.C. ACTIPOLIS
33010 CANEJAN
Tél. 05 57 35 41 90
Fax 05 57 35 41 91

NIEZT
560, route de Paris
79180 CHAURAY
Tél. 05 53 53 47 66
Fax 05 53 53 42 25

PERGUEUX
15, rue Ernest Guillier
24000 PERGUEUX
Tél. 05 53 53 28 80
Fax 05 53 53 56 93

ALIOS Pyrénées

BIAHRITZ
RD 704
64122 LARRUGNE
Tél. 05 53 47 30 30
Fax 05 53 47 30 31

TARBES
Z1 - 2, impasse de la Concorde
63020 BORDERES-SUR-LECHEZ
Tél. 05 62 38 36 36
Fax 05 59 47 30 31

SOMMAIRE

1)	CONTEXTE DE L'INTERVENTION.....	3
2)	CONTENU DE LA RECONNAISSANCE	3
3)	RESULTATS.....	4
	<i>ANNEXES</i>	5

Annexes (09 pages)

- Schéma d'implantation des sondages
- Sondages destructifs SD1 à SD5.

- Missions géotechniques :
 - o Conditions générales d'intervention,
 - o Classification des missions géotechniques types,
 - o Conditions générales des missions géotechniques.

1) CONTEXTE DE L'INTERVENTION

A la demande et pour le compte de la **Direction des Infrastructures du Département de la Charente Maritime** – 14 bis, rue Saint Pallais – BP 300 – 17107 SAINTES Cedex, la société **ALIOS INGENIERIE** – 560, route de Paris – 79180 CHALLIRAY - a réalisé des sondages avec enregistrement des paramètres de forage dans le cadre de la reconnaissance des carrières souterraines abandonnées sur la commune de **SAINT-GEORGES DES COTEAUX (17)**.

Commande : Bon de commande n° 01/2004 du 23/12/04 – SEGEF – Marché 568D03.

Notre intervention sur le site s'est déroulée les 10 et 11 janvier 2005.

La mission réalisée par la Société ALIOS INGENIERIE est du type G0 selon les termes de la classification des missions géotechniques (norme NF P 94-500 du 05/06/2000).

Le présent rapport consigne l'ensemble des résultats des sondages réalisés.

2) CONTENU DE LA RECONNAISSANCE

Pour répondre à la demande de la Direction Départementale des Infrastructures du Département de la Charente Maritime, il a été effectué cinq sondages destructifs au tricone 150 mm avec injection d'eau et enregistrement des paramètres de forage (vitesse d'avancement, pression sur l'outil, couple de rotation et pression d'injection).

Les sondages ont été implantés sur le terrain par les services du BRGM.

Lorsque ces sondages ont permis de confirmer la présence de vides, ils ont été équipés à l'aide de tube PVC de 120 mm, depuis la surface du terrain naturel jusqu'à 20 cm au-dessus du toit de la carrière afin de permettre le passage d'une caméra. Ces forages sont protégés en tête par des capots de protection ou par des regards métalliques.

3) RESULTATS

Les travaux réalisés sont reportés dans le tableau suivant :

Forage	Profondeur	Vide	Équipement
SD1	10.6 m	De 7.7 m à 9.85 m	PVC de 0.0 m à 7.5 m
SD2	10.0 m	De 6.0 m à 8.1 m	PVC de 0.0 m à 5.8 m
SD3	8.6 m	Néant	Néant
SD4	13.0 m	De 6.1 m à 12.8 m	PVC de 0.0 m à 5.9 m
SD5	13.75 m	De 8.35 m à 11.5 m	PVC de 0.0 m à 8.1 m

Les coupes et enregistrements de paramètres de chacun des forages réalisés sont fournies en annexe.

Nous restons à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

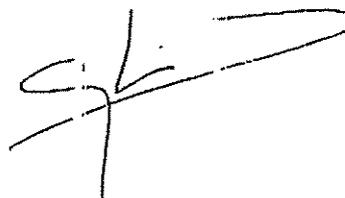
Les conclusions du présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes en annexe.

Relu par :

P. DONY

Rédigé par :

G. BOURNE



ANNEXES

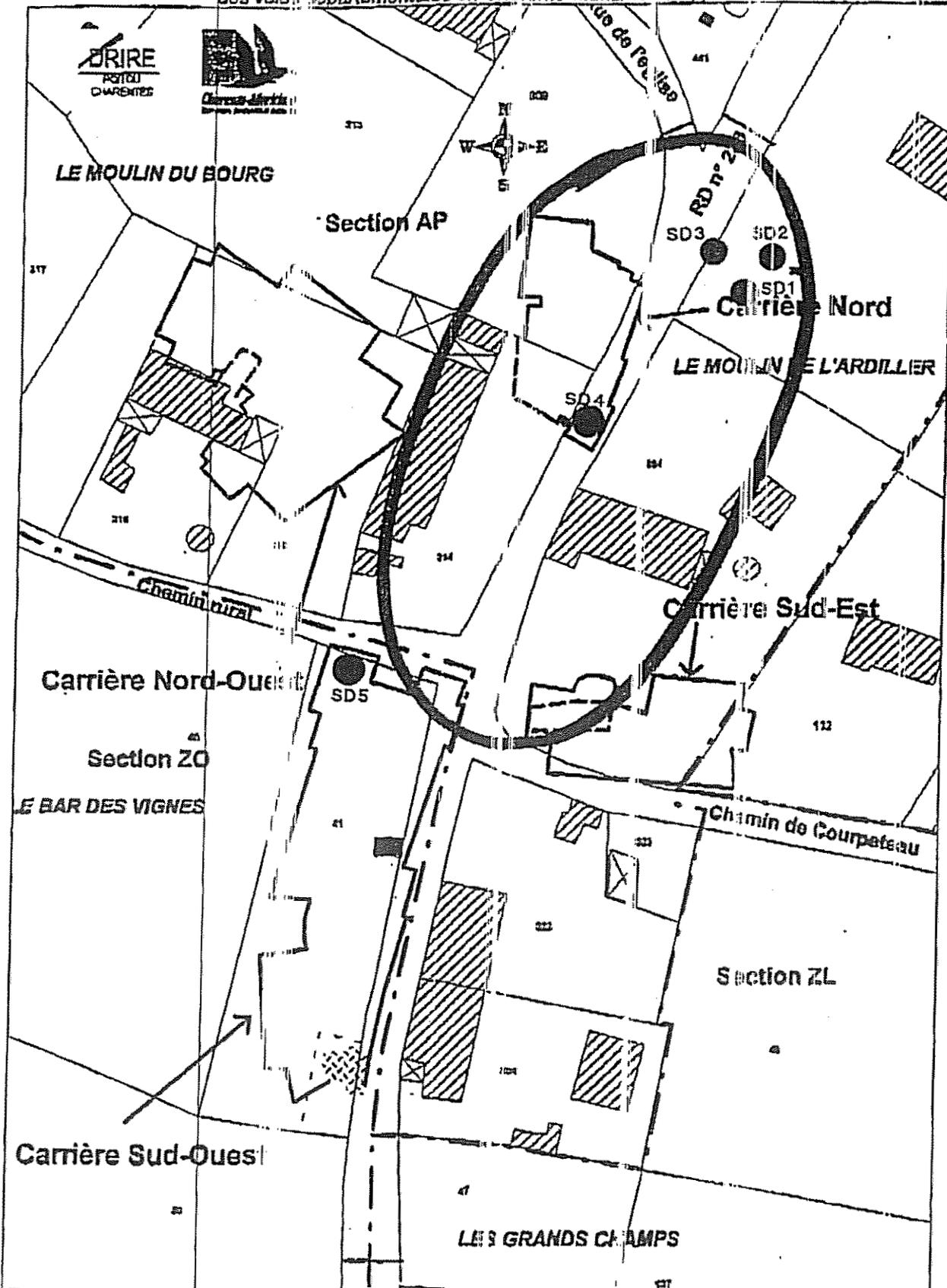
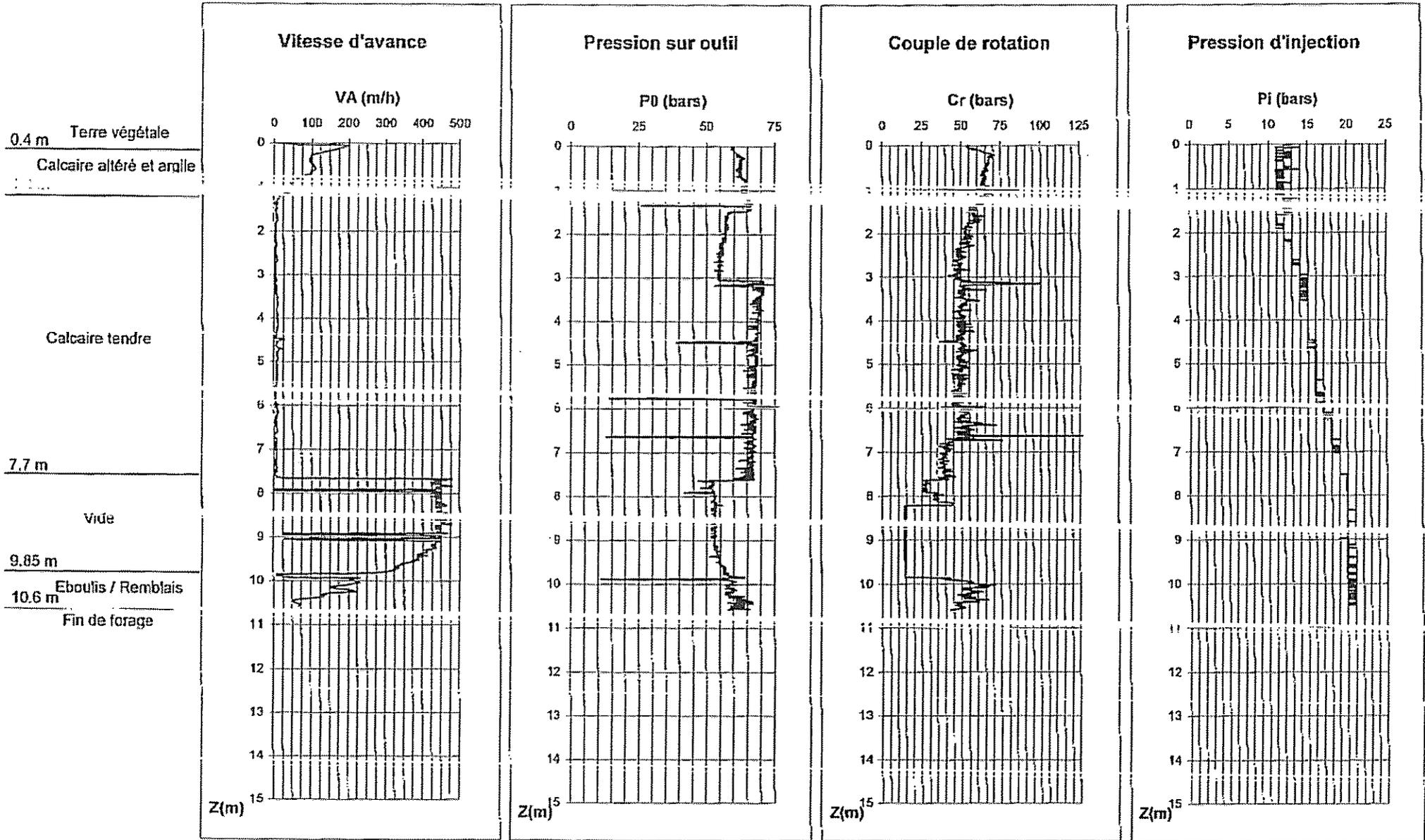
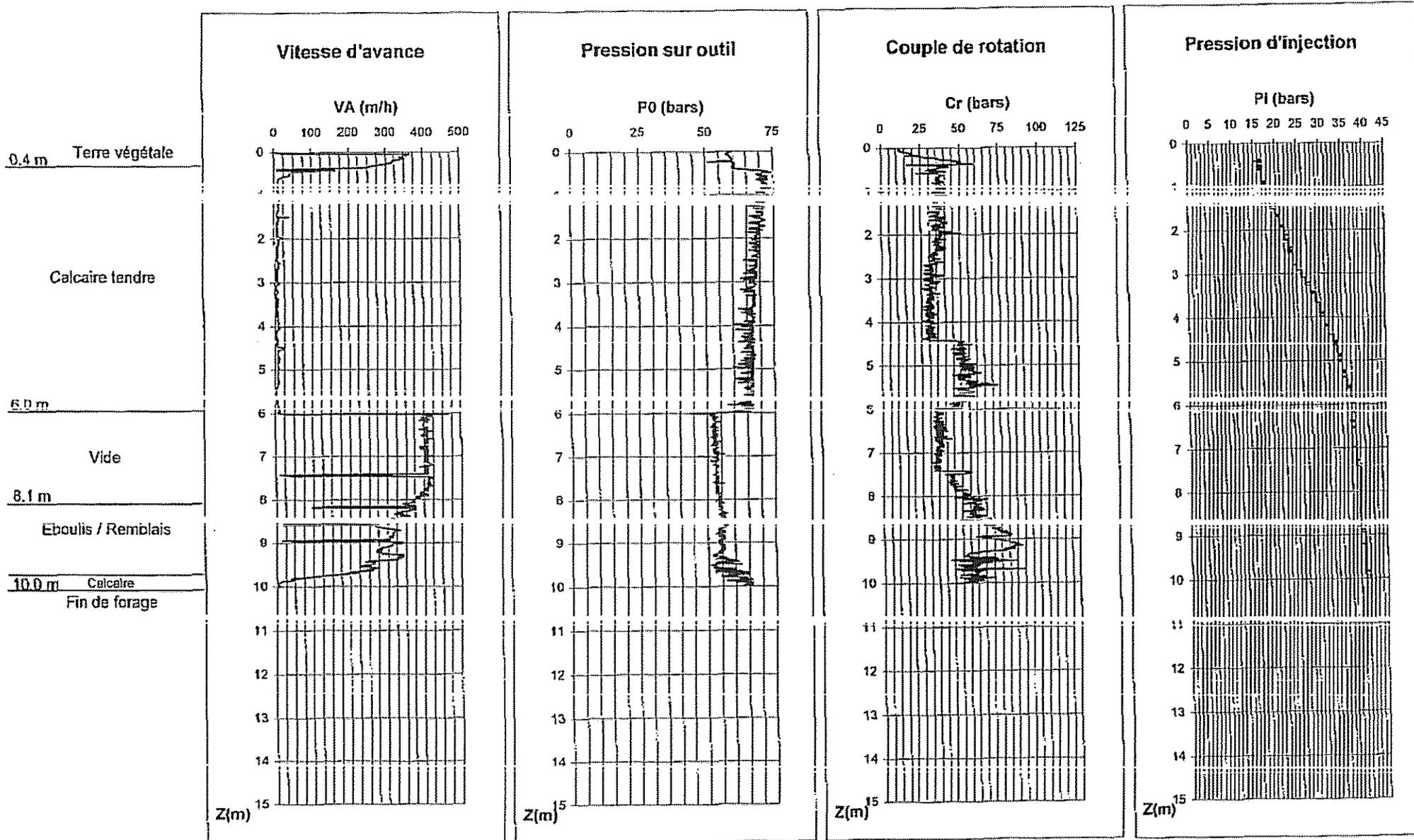


Figure 7 : Carrières souterraines "Les Moulins de Saint-Georges"
Commune de Saint-Georges-des-Coteaux
Positionnement des carrières sur plan cadastral - Echelle 1 / 1 000

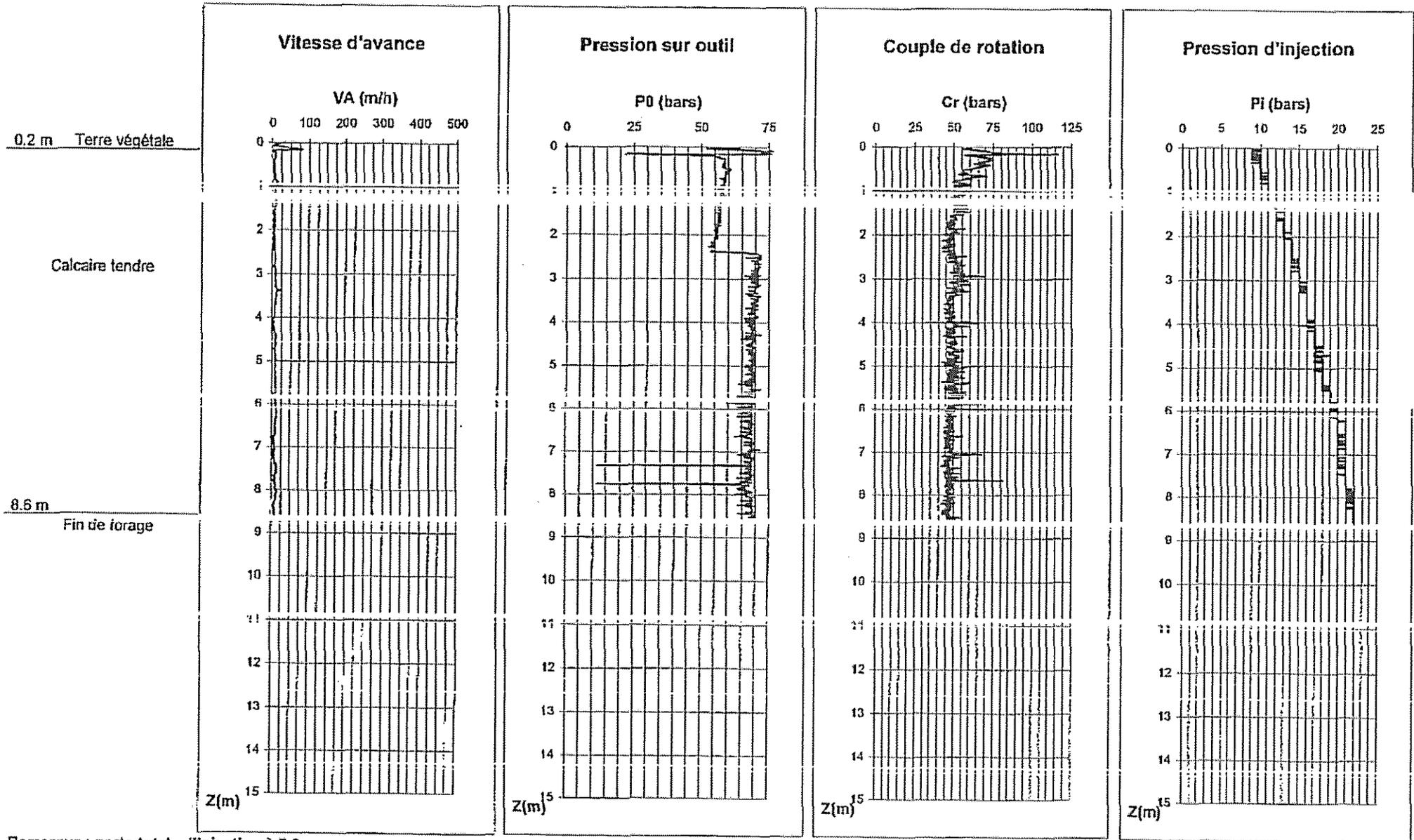
Levés cadastraux effectués par le BRGM à la base de la carte d'état-major - J. 44-1-1 (sans ombre portée à cette échelle)

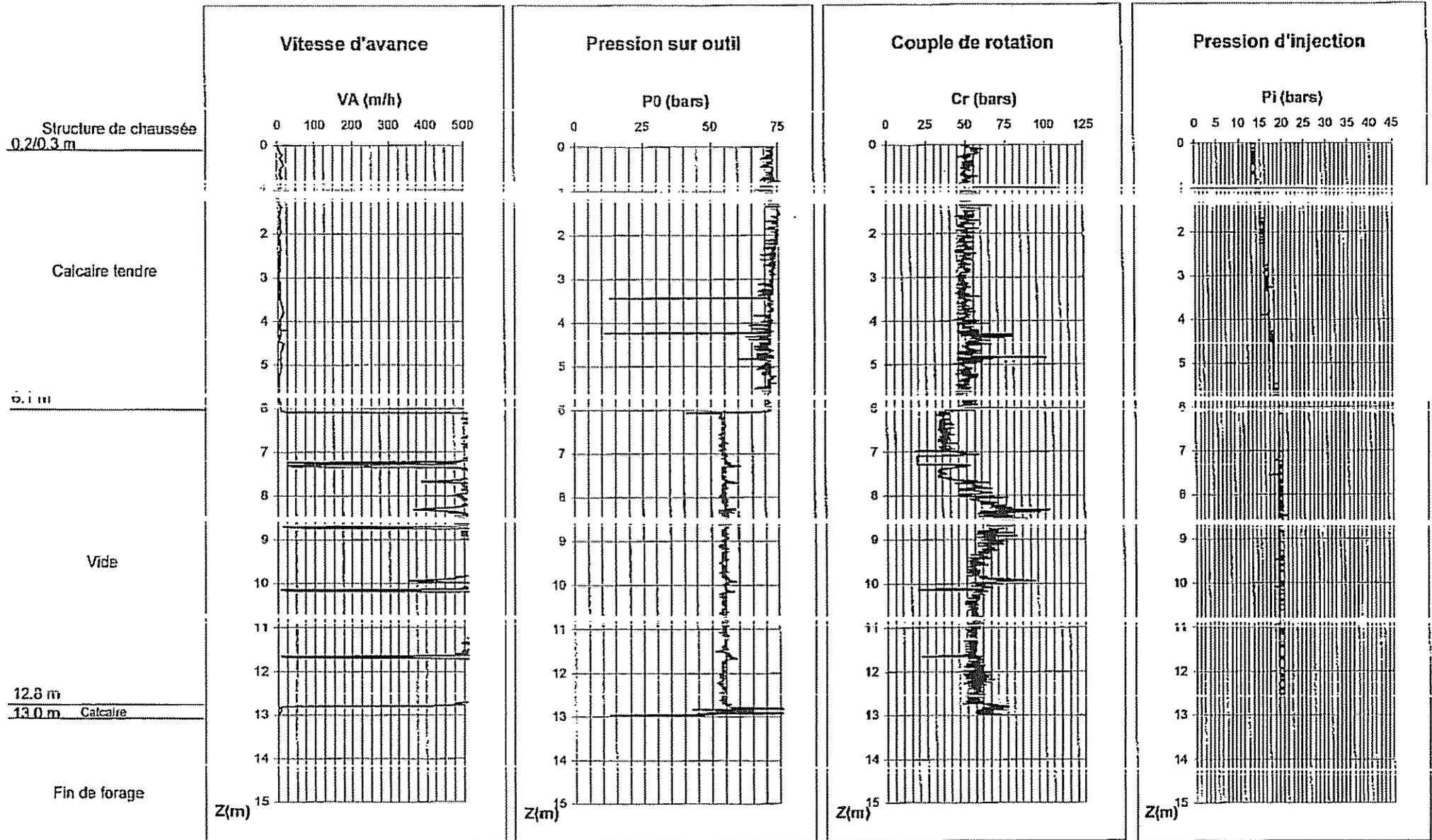


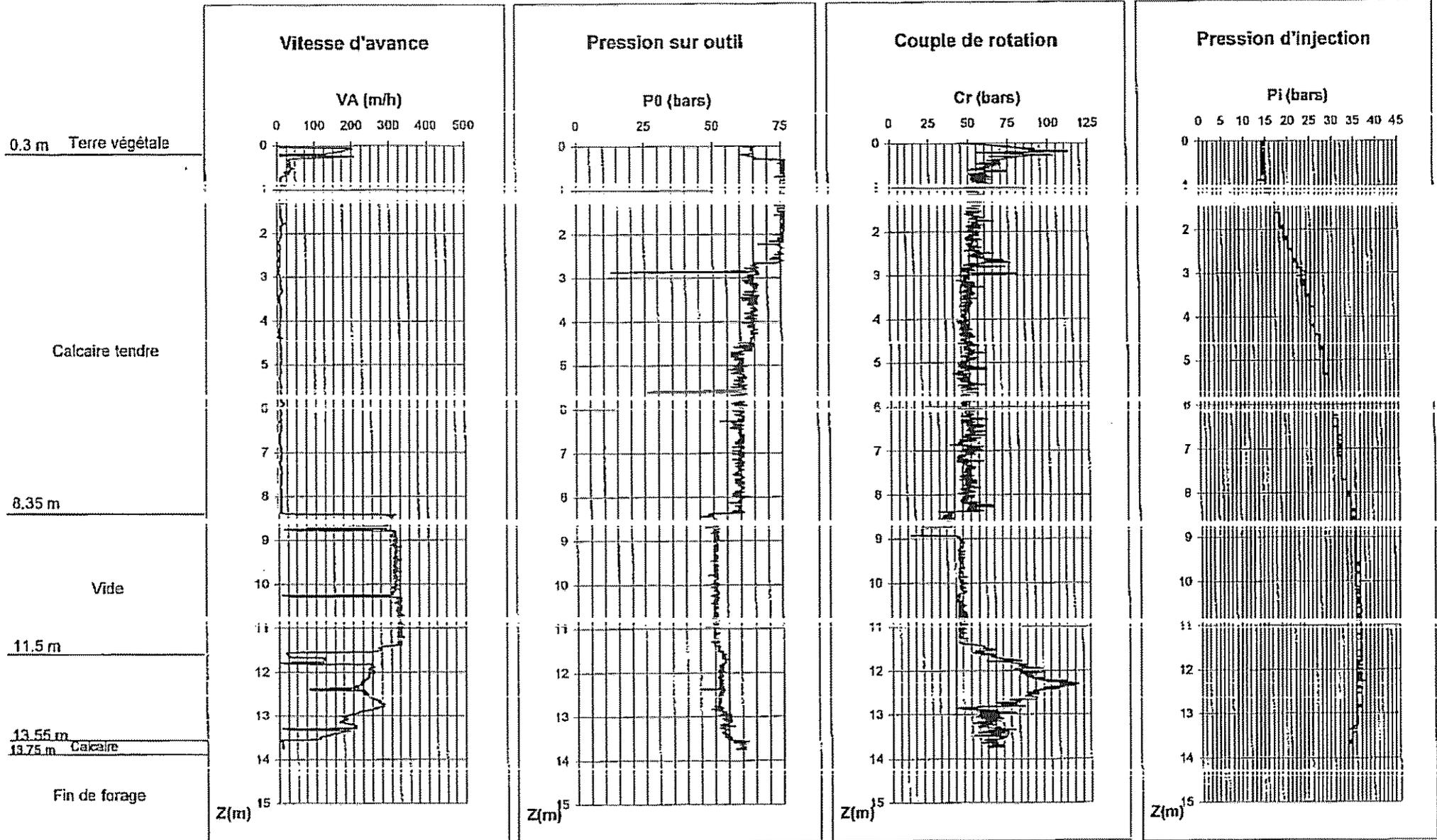




Équipement : Tube PVC de 0.0 m à 5.8 m







Equipement : Tube PVC de 0.0 m à 8.1 m

Annexe 6

CCTP pour la carrière "Nord" à St-Georges-des-Coteaux

**TRAVAUX DE COMPLEMENT D'UNE PARTIE DE LA
CARRIERE SAINT-GEORGES NORD**

PROJET DE CCTP

ARTICLE 1 - LIEU D'EXÉCUTION DES TRAVAUX

Les travaux de comblement objet du présent marché concerne un secteur de carrière souterraine situé sous la RD 236, entre la rue de l'église et le chemin de Courpeteau, au sud-est du lieu-dit "Le Moulin du bourg", devant la propriété Loiseau. Cette carrière est accessible par un puits sécurisé dont l'ouverture –dans la chaussée- est protégée par un tampon en fonte lourde.

L'entrepreneur est tenu d'avoir examiné les lieux et de s'être assuré par lui même des conditions existantes dans lesquelles il devra travailler. A ce sujet, aucune tolérance ne sera admise ultérieurement pour toute erreur ou négligence de la part de l'entrepreneur.

ARTICLE 2 - RENSEIGNEMENTS SUR LE SOUS-SOL

Le recouvrement de la carrière est entièrement constitué de terrains calcaires dont l'épaisseur diminue du sud vers le nord du fait de la déclivité de la rue. En moyenne elle varie de 6,25 m à 5,40 m. Est produit en annexe XXX le plan topographique de la carrière.

ARTICLE 3 - DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les travaux proposés ont pour objectif de combler un secteur de carrière situé essentiellement sous le domaine public mais débordant de 3 m environ sous la propriété privée limitrophe. La présence de remblais constitués de déchets de la taille du calcaire exploité rend la hauteur des vides très variable, de 0,5 m à 3,5 m. Par ailleurs, une excavation de 5 m de profondeur et 22 m² de section anciennement destinée à capter l'eau de la nappe phréatique, est présente au sud du secteur à combler. L'ancien puits à eau de la propriété Loiseau débouche dans cette excavation et le puits de descente dans la carrière n'en est qu'à 2 m.

3.1. Comblement de la citerne à eau

Il sera réalisé par déversement d'une grave propre (fraction 10 mm – 50mm environ) en se servant des 2 puits existants (goulotte dans le puits de visite). Au préalable un tube en PVC haute résistance de 200 mm de diamètre et 14 m de profondeur, crépiné sur les 2 m inférieurs, sera mis en place dans l'ancien puits à eau.

Après comblement jusqu'à la base de la margelle qui ceint l'excavation, une membrane d'étanchéité sera mise en place sur le gravier, par l'intermédiaire d'un géotextile, et agrafée au calcaire. Son but est d'empêcher toute imprégnation de la grave par le coulis de comblement de la carrière et toute interférence avec la nappe phréatique.

3.2. Confinement du secteur de carrière à combler

L'isolement du secteur à remblayer nécessitera la réalisation de 4 cloisons. Entre le pilier sud et le fond de carrière, en arrière de la face ouest de la citerne, la « fenêtre » à obturer fait 6 m le long et 1,8 m de haut. Elle pourra l'être avec un mur en agglos renforcé

horizontalement et verticalement. Entre le pilier sud et le pilier central, la « fenêtre » à obturer fait 6,1 m le long et 1,4 m de haut. Elle le sera de la même manière que la précédente. Entre le pilier central et le pilier Nord puis entre le pilier Nord et le fond de carrière, les « fenêtres » à obturer font respectivement 9,6 m et 3,4 m de long, mais leur hauteur est localement très réduite -0,5 m- du fait des surépaisseurs de remblais. Leur obturation pourra être réalisée en partie à l'aide d'agglos comme pour les précédentes, et lorsque la hauteur est faible, avec des moyens plus rustiques comme par exemple le colmatage avec des blocs de calcaire placés à la main et l'agrafage d'une feuille de polyane pour assurer l'étanchéité.

Les murs en agglos seront fondés dans les remblais, sur une semelle de 0,5 m de largeur minimum encastrée d'au moins 0,30 m. L'entrepreneur veillera à ce que ces ouvrages résistent à la poussée du coulis frais.

Si au moment des travaux la carrière apparaissait trop dégradée, il faudrait envisager de réaliser ces obturations depuis la surface, à l'aide de plots de coulis rigide injecté dans des forages.

3.3. Forages d'injection

Les forages d'injection seront réalisés avec une maille de 4 m x 4 m (au niveau du toit de la carrière). Au nombre de 16, ils cumuleront un linéaire de 100 m. Ceux de la ligne réalisée en bordure Ouest de la rue seront légèrement inclinés en direction de l'ouest d'un angle fonction de l'encombrement de l'atelier de foration.

Ces forages seront équipés en tubes lisses jusqu'à leur profondeur finale.

Le maillage définitif -après prise en compte des VRD- sera soumis à l'agrément du maître d'oeuvre.

3.4. Injection des vides

Les vides seront comblés par injections gravitaires. Pour simplifier la mise en œuvre et compte tenu de la maille des forages d'injection, le coulis aura la même composition sur l'ensemble du secteur à traiter. Cela implique d'avoir recours à un coulis très fluide pour un bon remplissage dans la partie Nord, en particulier, où la hauteur de vide est faible.

L'entrepreneur soumettra à l'agrément du maître d'oeuvre une formule de coulis adaptée à un comblement optimal, sachant que sa résistance à la compression simple à 28 jours ne pourra être inférieure à 5 MPa.

L'injection s'opèrera par paliers de 10 m³ et temps de prise entre deux passes successives. Le tube sera nettoyé après chaque passe.

La fin d'injection s'opèrera à 1 m de profondeur (refus sous légère pression de l'ordre de 0,1 Mpa).

Les tubes seront nettoyés en fin d'injection.

Le bordereau quantitatif estimatif est établi sur la base d'un volume de 450 m³.

3.5. Variante

L'Entrepreneur est libre dans son offre de proposer un procédé de mise en oeuvre différent de celui exposé. Il devra toutefois répondre sur la solution de base et joindre dans son offre la solution variante qu'elle préconise.

ARTICLE 4 - INSTALLATIONS DE CHANTIER - CONDUITE GENERALE DES TRAVAUX

L'entrepreneur est tenu d'assister, préalablement au démarrage des travaux, aux réunions de coordination organisées sur place avec les services concernés (Maître d'ouvrage, Maître d'oeuvre) et les éventuels concessionnaires, aux fins de mettre au point le planning d'exécution des travaux et les mesures à prendre concernant la circulation, la protection des ouvrages et des réseaux publics et la sécurité du chantier.

Pendant toute la durée des travaux, l'entrepreneur aura le souci de créer le moins de gêne possible pour la circulation des véhicules et préserver la quiétude des riverains.

Une attention toute particulière sera apportée à la propreté et à la bonne tenue des chantiers.

Les prix du marché sont réputés couvrir toutes les prestations et sujétions nécessaires à la conduite du chantier, et à l'exécution des travaux y compris celles non réglées par un prix spécifique du bordereau.

Ils comprennent en particulier : baraque de chantier à l'usage de l'entrepreneur, tous branchements et fourniture d'eau, électricité, téléphone, etc... aires de stockage et de lavage, installation d'hygiène et de sécurité, tous matériels divers, clôture du chantier et des installations, y compris les frais de pose et dépose consécutifs au phasage des travaux, éclairage, signalisation, affichage, protection contre les eaux, protection des installations, et, d'une façon générale, tous les frais d'utilisation des installations et toutes les sujétions et façon nécessaires à la bonne marche des travaux.

Ils comprennent également le repliement des installations, le nettoyage complet du chantier et, éventuellement, des ouvrages et réseaux, le rebouchage des sondages sur voirie.

ARTICLE 5 - EXECUTION DES FORAGES

5.1. Foration

L'entrepreneur est tenu, avant tout début d'exécution, de rédiger une déclaration d'intention de travaux à l'attention des divers services et concessionnaires concernés.

Quelle que soit la précision des plans des ouvrages souterrains fournis, l'entrepreneur est tenu de réaliser, avant chaque forage, un avant trou à la tarière à main pour assurer le passage de l'outil de forage hors de toute emprise d'ouvrages souterrains. La profondeur de l'avant trou est en principe de 1,50 m à 2 m, en fonction de celle des ouvrages connus. Le prix comprend la dépose et la remise en état sommaire du sol, le cas échéant.

La longueur de forage prise en compte sera mesurée à partir du niveau du sol.

Les forages seront descendus jusqu'au percement du toit de la carrière.

L'entrepreneur fera connaître au maître d'oeuvre les caractéristiques du matériel de forage avant le début des travaux et lui remettra la documentation correspondante. Il est bien spécifié à cet égard que les matériels à utiliser seront adaptés aux travaux à exécuter, et qu'aucune plus-value ne sera accordée en cas de façons supplémentaires nécessitées par l'utilisation d'un matériel non adapté.

5.2. Enregistrement et équipements des forages

L'appareillage utilisé pour l'enregistrement des paramètres de forages comprend un enregistrement en continu sur papier d'au moins deux paramètres : vitesse de pénétration de l'outil et pression sur l'outil.

Les enregistrements seront effectués sous format numérique.

Les forages seront équipés de tubes lisses. Le diamètre de ces tubes sera adapté à la nature du coulis à mettre en oeuvre.

Toutes précautions seront prises pour éviter l'intrusion d'éléments extérieurs dans les tubes avant l'opération d'injection.

ARTICLE 6 - EXECUTION DES INJECTIONS

6.1. Spécifications des granulats et coulis

Les ciments entrant dans le traitement des mélanges devront être conformes aux normes AFNOR NF 15300 et 15301 de décembre 1981 et à la norme P 15319 d'octobre 1990 " ciments pour travaux en eau à haute teneur en sulfate ".

Si de la bentonite est utilisée, le diamètre des particules en suspension ne devra pas dépasser 2 microns.

En cas d'utilisation de sablon, celui-ci devra posséder un équivalent de sable supérieur à 20, un indice de plasticité inférieur à 8 et ne pas contenir plus de 0,4 % de matières organiques. Pourront être également utilisés des matériaux naturels ou artificiels (pour autant qu'ils ne soient pas polluants) répondant aux caractéristiques ci-avant avec une granulométrie de 0 à 5 mm maximum.

Les silicates pour coulis à prise rapide, s'ils sont utilisés, devront avoir un rapport SiO_2/Na_2O compris entre 3 et 4 et présenter un degré Baumé compris entre 31 et 40.

Les matériaux livrés seront accompagnés des lettres de voitures indiquant le lieu de provenance, le nom du fournisseur et les quantités approvisionnées.

L'eau proviendra uniquement des réseaux de concessionnaires publics et sera puisée aux appareils indiqués par l'ingénieur. Elle ne sera utilisée que pour les besoins normaux du chantier et l'entrepreneur est tenu de vérifier à ce qu'il n'en soit fait aucun gaspillage.

Le dosage normal des mortiers et coulis devra être respecté avec une tolérance de plus ou moins 5 %. Si nécessaire, ce dosage sera modifié à la demande de l'ingénieur chargé du chantier.

Les mortiers et coulis seront parfaitement homogènes et ne devront contenir que la quantité d'eau strictement nécessaire.

6.2. Composition du coulis

Elle sera soumise par l'entrepreneur au maître d'œuvre, sachant qu'elle doit répondre aux exigences des § 3.4. et 6.1.

6.3. Mise en oeuvre des mortiers et des coulis - Dispositions générales

L'ensemble des matériels utilisés devra être agréé par le maître d'oeuvre.

La centrale d'injection devra être instrumentée conformément à l'article 7 ci-après. Le coût de ces dispositifs sera inclus dans le coût d'installation de la centrale.

Le coulis de comblement sera mis en oeuvre gravitairement (pression inférieure à 0,1 Mpa en fin d'injection).

Le matériel de malaxage devra permettre de produire des coulis parfaitement homogènes et de composition constante.

La bentonite sera, si nécessaire, hydratée avant introduction dans le malaxeur.

L'eau est également dosée dans le malaxeur. Un compteur volumétrique à réglage automatique est installé à l'arrivée d'eau au malaxeur et relié à la prise d'eau par une tuyauterie fixe. Les prélèvements d'eau pour tout autre usage, lavages notamment, sont effectués en amont de ce compteur.

Un débitmètre avec totalisation est installé sur les canalisations d'injection afin de mesurer la quantité de produits mis en oeuvre.

Il pourra être également utilisé des coulis avec adjonction de silicate pour prise rapide ; dont la composition sera soumise à l'appréciation de l'ingénieur.

Toutes précautions seront prises pour ne pas rejeter d'eau chargée dans les exutoires. Toutes précautions seront également prises pour éviter des fuites de coulis dans les ouvrages souterrains.

En tout état de cause, l'entrepreneur procédera à une visite journalière des ouvrages concernés pendant toute la durée des opérations d'injection. Il devra, en cas de pénétration de coulis dans ces réseaux, procéder, à ses frais, à leur nettoyage.

6.4. Quantités mises en oeuvre

Les quantités mises en oeuvre sont mesurées et contrôlées sur place en cours de travaux :

- par enregistrement des quantités pesées sur la bascule pour le ciment, la bentonite et les autres composants fins ;
- par pesage des quantités introduites dans le malaxeur pour le sablon, le ciment et l'eau ;
- par enregistrement des volumes sortants du malaxeur pour les quantités de coulis mis en oeuvre.

ARTICLE 7 - INSTRUMENTATION DE LA CENTRALE D'INJECTION

7.1. Dispositions générales

Le but de l'instrumentation est :

- d'assurer une production de qualité, dont la composition et le dosage sont contrôlés en continu ;
- de vérifier de façon fiable les quantités produites et effectivement mises en oeuvre.

Le matériel proposé devra être fiable et conçu pour travailler dans les conditions d'environnement difficiles (température, pluie, poussière, boue ...). Il devra en outre être conforme à la législation en vigueur concernant les appareils de mesure.

7.2. Dispositifs de mise en oeuvre et de contrôle de la production

La production est effectuée par un système automatisé et informatisé.

Le malaxeur repose sur des jauges de contraintes (trois de préférence). Le produit contenu dans celui-ci est pesé en permanence.

Il est également équipé de deux détecteurs de niveaux. Le niveau de chaque gâchée doit se situer obligatoirement entre les deux contacts.

Les compositions par gâchée sont mémorisées dans une centrale de mesures, qui permet par affichage, d'appeler les quantités nécessaires à chaque cycle.

Le dosage de chaque constituant est effectué au poids net avec une correction automatique de l'erreur de jetée et un contrôle en plus et en moins. En cas de dépassement de cette tolérance, si la correction n'a pas été faite, le système le signale par klaxon, gyrophare, ou tout autre moyen et l'opérateur effectue la correction sur la gâchée suivante. Cet incident est mémorisé et retransmis ultérieurement pour contrôle.

Le système permet de visualiser en permanence sur écran le dosage du produit, le respect de la tolérance, les temps d'écoulement des produits et de temporisation entre l'ordre d'arrêt et l'arrêt effectif.

Les quantités introduites dans le malaxeur gâchée par gâchée, le nombre de gâchées, les quantités globales mises en oeuvre, seront fournis sur listing en temps réel au maître d'oeuvre en fin de journée.

7.3. Dispositifs de contrôles des quantités mises en oeuvre

Le système comporte un dispositif de visualisation sur écran permettant de contrôler, par passe injectée, et sous forme de graphiques, les volumes injectés ainsi que des pressions. Ces renseignements peuvent être également édités sous forme de documents graphiques à tout moment.

Un capteur de débit est installé à la sortie de chaque presse d'injection. Ce matériel sera étalonné avant le début du chantier et pourra être vérifié au cours de travaux sur demande du maître d'ouvrage.

Il en sera de même pour le débitmètre à totalisation à installer, tant pour les injections gravitaires que pour les injections sous pression, à la sortie du malaxeur.

Si l'installation comprend une centrale relais, les capteurs de débits seront également installés à la sortie des presses, mais un débit mètre général sera installé à la sortie de l'unité de fabrication.

Des mesures seront effectuées avec le mélange utilisé pour déterminer, en fonction du débit et de la pression d'injection, le poste de charge entre la sortie de presse et la tête de forage.

Les volumes mis en oeuvre par jour et par forage seront fournis au maître d'oeuvre. En fin d'injection d'un forage, la feuille de passe, le listing, le volume prévu et le volume injecté ainsi que les débits seront fournis immédiatement.

7.4. Alarmes, sécurités et documents à fournir

L'ensemble des informations collectées par les divers appareils de mesure est envoyé dans la centrale de mesures. Le système doit permettre leur consultation à tout moment et d'en éditer une sortie journalière.

En dehors des contrôles effectués normalement pendant la production et la mise en oeuvre, le système conserve en mémoire un certain nombre d'informations permettant à un responsable de les contrôler a posteriori. La mémoire de la centrale de mesures aura une capacité suffisante pour stocker les informations relatives à l'activité de la centrale pendant quinze jours calendaires.

La liste des informations à conserver comporte les éléments suivants :

- code installation ;
- date/heure début cycle ;
- nombre de cycles avec date horaire ;
- total m³/formule et cumul ;
- total consommation par produit ;
- nombre de hors tolérance ;
- nombre de passages en manuel ;
- nombre d'arrêts dus à des causes extérieures au système ;
- temps de mise sous tension du matériel ;
- incidents.
-

L'ensemble des informations est édité sur imprimante.

Pendant les passages en manuel, le système devra continuer à enregistrer les paramètres de fonctionnement de l'installation.

L'entrepreneur remet au maître d'ouvrage :

- les feuilles de passe et les feuilles de journée ;
- l'ensemble des fichiers numériques ainsi qu'une copie du logiciel d'exploitation d'un type courant permettant leur exploitation sur PC.

ARTICLE 8 - CONTRÔLES DE L'EXÉCUTION

8.1. Contrôles en cours d'exécution effectués par l'entrepreneur

En cours d'exécution, l'entrepreneur devra exécuter un autocontrôle de ses travaux, soit au minimum 3 forages de contrôle.

L'implantation de ces derniers est laissée à l'entière liberté de l'entrepreneur mais ils devront toutefois être corroborés par les informations recueillies par les systèmes de contrôle de la centrale d'injection.

Ces forages de contrôle seront réalisés aux frais de l'entrepreneur.

8.2. Contrôles en cours d'exécution effectués par le maître d'oeuvre

Ces contrôles effectués par le maître d'oeuvre avec l'assistance de l'entrepreneur porteront sur :

- les enregistrements des sondages ;
- les quantités et poids des matériaux approvisionnés ;
- la vérification de la qualité des ciments et granulats ;
- la conformité des dosages.

8.3. Contrôles après exécution

Le maître d'oeuvre fera réaliser des sondages et essais de contrôle afin de s'assurer que les travaux de comblement ont été convenablement exécutés.

Dans cette hypothèse, l'entrepreneur ne pourra en aucun cas se prévaloir des gênes qui pourraient être causées par la réalisation de ces sondages et essais. Il devra en particulier laisser, et au besoin faciliter, le libre accès au chantier des matériels nécessaires à la réalisation de ces travaux.

ARTICLE 9 - DÉLAI D'EXECUTION

Le délai d'exécution des travaux est fixé dans le marché qui sera signé avec le maître d'ouvrage.

ARTICLE 10 - PRESTATIONS FOURNIES PAR LE MAITRE D'OUVRAGE

Il fournira à l'entrepreneur tous les renseignements en sa possession relatifs aux carrières, aux caractéristiques du terrain, aux ouvrages du sous-sol et aux conditions de circulation et de stationnement sur les voies publiques.

Le maître d'ouvrage, assisté du maître d'oeuvre, mettra à la disposition de l'entrepreneur l'ensemble des aires nécessaires aux installations de chantier au stockage des matériaux de la centrale de fabrication, à la circulation des camions et engins, et au libre accès aux points de forage et d'injection.

ARTICLE 11 - DOCUMENTS A FOURNIR APRES EXECUTION

Après exécution, l'entrepreneur remettra en trois exemplaires un dossier des ouvrages exécutés comprenant :

- un plan des injections à l'échelle du 1/200ème avec l'indication du tracé des anciennes carrières, la situation des forages avec les quantités injectées selon les différentes natures de mortier et coulis - l'orientation - une échelle numérique et graphique ;
- une fiche récapitulative des injections, forage par forage portant la profondeur du forage, les dates de début et fin, les quantités et hauteurs injectées ;
- les documents à conserver à l'article 7.4 du présent CCTP.

ARTICLE 12 - MAITRISE D'OUVRAGE

La maîtrise d'ouvrage est assurée par

Désignation et définition des prix	Unité	Prix unitaire	Quantité	Total
1 Préparation, amenée, installation et repli des matériels nécessaires et toutes sujétions: > Travaux d'installation > Mise en sécurité du chantier > Demandes et autorisations administratives > Réunions de concertation avec les éventuels concessionnaires > Repliement de l'ensemble du matériel en fin de travaux. > Remise en état et nettoyage des lieux	F		1	
2. Tubage du puits à eau Fourniture et mise en place d'un tube PVC HD Ø 200 mm crépiné sur les 2 derniers mètres	ml		14	
3. Comblement de la citerne	m ³		110	
4. Etanchéification	m ²		30	
5. Réalisation des ouvrages de contention	m ²		35	
6 Foration des points d'injection				
6.1 Mise en station sur chaque point	U		16	
6.2 Foration des points d'injection	ml		100	
6.3 Fourniture et pose des tubages	ml		100	
7 Injections des vides				
7.1 Installation du matériel d'injection au droit de chaque point	U		16	
7.2 Fourniture et injection de coulis (spécifications et composition précisées dans le CCTP)	m ³		450	
8 Réalisation de forages de contrôle interne	f		1	
9 Fourniture de dossier et plans de récolement des travaux exécutés Récapitulatif des quantités, composition et modes d'injection de coulis Enregistrements des sondages Essais et contrôles internes	F		15	

MONTANT TOTAL H.T DES TRAVAUX	
T.V.A 19,6 %	
MONTANT TOTAL T.T.C	

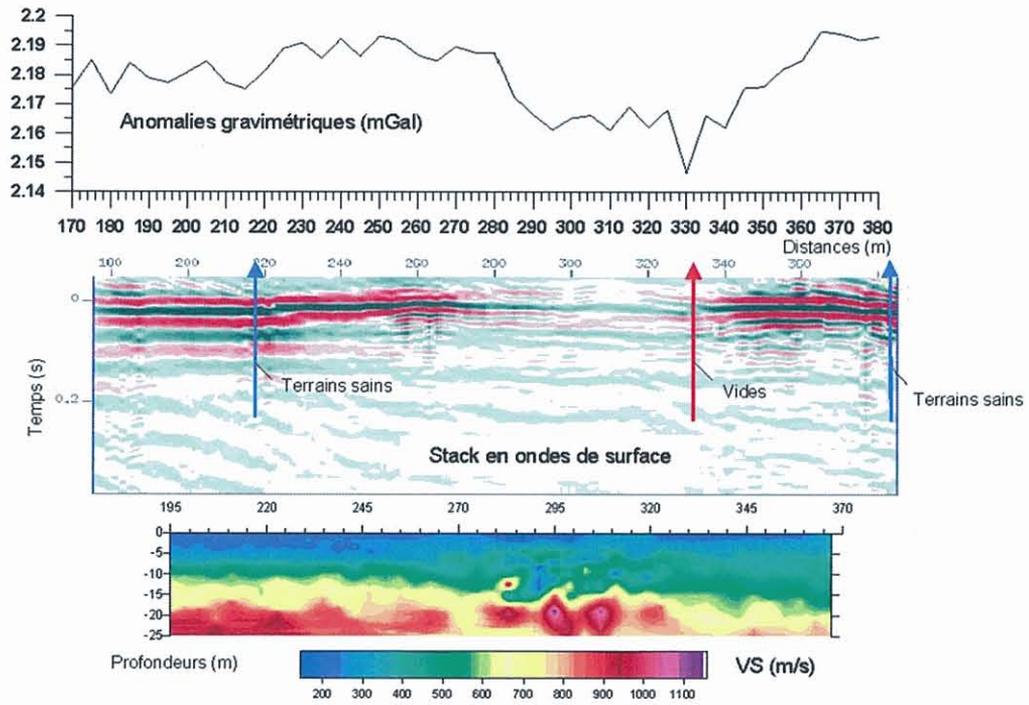


Fig. 2 - Reconnaissance des drains karstique par sismique SASW et gravimétrie en amont du Parc Floral de la Source et contrôle par sondages : a- anomalie gravimétrique, b- imagerie en ondes de surface, c- coupe de vitesse Vs.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Poitou-Charentes
11, allée de la Providence
86000 – Poitiers - France
Tél. : 05 49 38 15 35