

Document public

***Caractérisation de l'aléa lié à la présence de
carrières souterraines abandonnées en
périphérie immédiate de la ville de
Saint-Emilion (Gironde)***

Secteur sud-ouest de la ville

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-H-105

Septembre 1999
R 40635

Document public

***Caractérisation de l'aléa lié à la présence de
carrières souterraines abandonnées en
périphérie immédiate de la ville de
Saint-Emilion (Gironde)***

Secteur sud-ouest de la ville

Septembre 1999
R 40635

Mots clés : risques naturels, carrières souterraines, aléa, Saint-Emilion, Gironde

En bibliographie ce rapport sera cité de la façon suivante :

Vincent M. et Mathon C. (1999) - Caractérisation de l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées en périphérie immédiate de la ville de Saint-Emilion (Gironde) – Secteur sud-ouest de la ville. Rapport BRGM, R40635

© BRGM, 1999 ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM, de la DRIRE Aquitaine et de la Commune de Saint-Emilion

Synthèse

L'importance de l'extension des carrières souterraines abandonnées dans la commune de Saint-Emilion et le nombre d'effondrements survenus récemment dans les vignobles, en périphérie de la ville, ont amené à s'interroger sur les risques que ces anciennes exploitations font courir aux personnes qui fréquentent le site, et aux biens dont la valeur patrimoniale est avérée.

Dans le cadre de l'élaboration d'un **Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur**, une caractérisation de l'aléa dans la partie intra-muros de Saint-Emilion est prévue par ailleurs. Cependant, étant donnée la continuité qui existe entre les exploitations situées sous le secteur bâti de la ville et celles qui se développent en périphérie immédiate, il est apparu nécessaire de prolonger cette étude par un **examen de l'aléa associé aux carrières situées extra-muros** afin notamment de définir d'éventuelles mesures conservatoires pour éviter la **propagation vers le bourg d'effondrements survenus en périphérie de la ville.**

C'est l'objet de la présente étude, qui a été confiée au **Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM**, dans le cadre de ses actions de Service Public, par la **Commune de Saint-Emilion, la Préfecture de la Gironde et la DRIRE**, et qui porte sur le secteur sud-ouest de la ville et couvre une surface de **25 hectares**, représentant un tiers environ de cette couronne périphérique sous-cavée.

Dans un premier temps, l'étude s'est attachée à réaliser **une synthèse des données déjà disponibles** concernant à la fois **l'extension des carrières souterraines** dans la zone d'étude, mais aussi les **caractéristiques physiques et mécaniques du matériau exploité**, ainsi que le **contexte hydrogéologique** du secteur et le **recensement des désordres** qui y ont été observés, du fait de la présence des carrières souterraines.

Ensuite, une **visite systématique de l'ensemble des carrières souterraines** accessibles dans la zone d'étude et en périphérie immédiate a été effectuée, **conjointement avec le Bureau des Carrières** du Conseil Général de Gironde, lequel possède déjà une longue connaissance de ces anciennes exploitations. Ces visites, complétées par une campagne de **levés topographiques**, ont permis de déterminer la disposition des **quatre principaux niveaux** de carrières souterraines et leur extension. La superficie cumulée des différents niveaux de carrières s'élèverait à environ 24 ha dans la zone d'étude, dont **21 ha encore visitables**. Moins de 20 % de cette surface a fait l'objet de levés topographiques à ce jour.

Par ailleurs, ces observations in situ ont conduit à **analyser les différents types d'effondrements** qui se sont déjà produits dans la zone et ont permis d'établir **un diagnostic sommaire de l'état de dégradation** des carrières et de la nature des risques d'instabilité potentielle. **Une carte de l'aléa** associé à la présence des carrières a ainsi été dressée pour la zone d'étude.

A la lumière de ces éléments, il ressort que **la plupart des désordres sont initiés au niveau supérieur.**

Les principaux facteurs entrant en jeu sont le **taux de défrètement**, particulièrement élevé à ce niveau, l'**épaisseur de recouvrement**, localement très faible, et la présence d'un **niveau argileux** faisant office de joint de décollement, au-dessus du premier banc de toit. La présence localisée de **réseaux karstiques** et de lentilles de **calcaire particulièrement friable** expliquent également l'initialisation de certains désordres. Enfin, l'existence de « mezzanines » qui divisent en deux certaines galeries du niveau supérieur, semble jouer un rôle aggravant non négligeable, du fait de l'élancement extrême des piliers en cas de rupture de la planche intermédiaire.

L'ensemble des galeries rattachées au niveau supérieur, et plus encore au niveau dit superficiel, est donc considéré comme source d'aléa élevé. **De nouveaux effondrements dans ces niveaux supérieurs sont à craindre à court ou moyen terme** (surtout après une période particulièrement pluvieuse). Mais ce type d'événements n'entraîne pas nécessairement l'apparition de désordres dans les niveaux inférieurs, lesquels présentent globalement un état de stabilité plus satisfaisant dans la zone d'étude, à deux exceptions près (partie sud de la cave Querre, et surtout sous le chemin de la Pège, où la dégradation des piliers semble accélérée par les battements de la nappe).

En particulier, l'analyse de la dynamique des effondrements conduit à penser que **les risques de propagation vers le bourg d'effondrements initiés en périphérie, sont relativement limités** et ne justifient pas, en l'état actuel des choses, la réalisation d'un ouvrage spécifique. En revanche, l'état de dégradation avancé de la plupart des carrières des niveaux supérieurs, situées sous les vignobles, devrait **inciter les propriétaires à prendre des mesures de protection adaptées**.

Par ailleurs, **la voirie communale** située dans la zone d'étude (chemins de la Pège et de la Madeleine, rues des Douves, du Couvent et de la Porte Sainte-Marie) est **gravement menacée** par l'existence des carrières souterraines et des **mesures urgentes sont à prendre pour assurer la sécurité des usagers, voire pour remettre en circulation certains tronçons actuellement fermés**. Quelques recommandations ont été faites dans ce sens pour aider au choix des solutions techniques appropriées.

Table des matières

Synthèse	1
Introduction	5
1. Méthodologie de l'étude.....	7
1.1. Contexte et objectifs.....	7
1.2. Délimitation de la zone d'étude.....	9
1.3. Démarche de l'étude.....	10
2. Cadre géologique.....	15
2.1. Données bibliographiques.....	15
2.1.1.Contexte géologique.....	15
2.1.2.Caractéristiques lithologiques du Calcaire à astéries	15
2.1.3.Caractéristiques structurales	17
2.2. Observations de terrain	17
3. Cadre hydrogéologique.....	23
3.1. Données bibliographiques.....	23
3.2. Mesures piézométriques.....	24
4. Données géotechniques	29
4.1. Analyse critique des données bibliographiques	29
4.2. Caractéristiques physiques.....	30
4.3. Caractéristiques mécaniques	33
5. Caractéristiques géométriques des carrières	39
5.1. Distinction des différents niveaux de carrières	39
5.2. Inventaire des accès aux carrières	40
5.3. Caractéristiques du niveau superficiel	43
5.3.1.Limites d'extension.....	43
5.3.2.Principales caractéristiques géométriques	45
5.4. Caractéristiques du niveau supérieur	46
5.4.1.Limites d'extension.....	46
5.4.2.Principales caractéristiques géométriques	46

5.5.	Caractéristiques du niveau intermédiaire	53
5.5.1.	Limites d'extension.....	53
5.5.2.	Principales caractéristiques géométriques	53
5.6.	Caractéristiques du niveau inférieur.....	57
5.6.1.	Limites d'extension.....	57
5.6.2.	Principales caractéristiques géométriques	61
5.7.	Extension des zones sous-cavées	61
5.8.	Coupes verticales	65
5.8.1.	Coupe est-ouest dans l'axe de la Pège.....	65
5.8.2.	Coupe est-ouest sous la Madeleine.....	67
5.8.3.	Coupe nord-sud le long des Douves	75
6.	Analyse de la stabilité des carrières	77
6.1.	Description des effondrements historiques	77
6.2.	Observations de terrain	81
6.2.1.	Effondrement de 1994	81
6.2.2.	Effondrement de 1995	85
6.2.3.	Effondrement de 1997	89
6.2.4.	Autres observations.....	93
6.3.	Evaluation des niveaux de contraintes	96
6.3.1	Sollicitations en compression	96
6.3.2	Sollicitations en flexion	100
6.4.	Analyse de la dynamique des effondrements.....	102
7.	Synthèse et recommandations	105
7.1.	Carte de l'aléa.....	105
7.2.	Recommandations.....	107
	Conclusions	111
	Bibliographie.....	113
	Liste des figures	117
	Liste des tableaux	121
	Liste des annexes.....	123

Introduction

A Saint-Emilion, l'exploitation de la pierre de taille en carrières souterraines constitue une activité très ancienne, pratiquée de manière régulière au moins depuis le douzième siècle. Cette activité a connu un essor industriel particulièrement important à partir de la deuxième moitié du dix-huitième siècle. A cette période, l'extraction de la pierre à bâtir devient une activité très lucrative, avec l'apparition de débouchés liés à la construction de bâtiments publics dans les villes voisines (Libourne et Bordeaux). Cette exploitation a pris fin au début du vingtième siècle (à l'exception de dérogations ponctuelles et en dehors de quelques exploitations clandestines qui se seraient poursuivies jusqu'à une date relativement récente).

L'extraction de la pierre s'est développée essentiellement en souterrain, à partir de bouches de cavage ouvertes à flanc de coteau. Les carrières ont été creusées par la technique des chambres et piliers, sur plusieurs niveaux superposés. On estime que la surface totale des zones sous-cavées, atteint soixante-dix hectares environ, centrés principalement sur le bourg de Saint-Emilion, une dizaine d'hectares se trouvant même directement sous les zones bâties. Certaines de ces carrières ont été utilisées en champignonnières jusque dans les années 1980. Depuis, cette activité est abandonnée à Saint-Emilion, mais certaines de ces anciennes carrières sont encore utilisées comme chais à vin ou comme caves.

De nombreux effondrements ont affecté cet ensemble de carrières souterraines et ceci dès leur exploitation pour la pierre de taille. Une série d'accidents récents s'est notamment produite entre 1994 et 1997 dans les vignobles situés sur le plateau qui surplombe la ville, au sud-ouest de celle-ci. Etant donné l'intérêt patrimonial majeur que représente tant le bourg de Saint-Emilion (dont une partie des bâtiments est classée monument historique) que les vignobles adjacents, il importe de caractériser l'aléa associé à la présence de ces carrières souterraines abandonnées, d'évaluer la nature des risques induits par leur présence et de déterminer les actions à entreprendre en vue de prévenir de nouveaux effondrements.

Dans le cadre de l'élaboration d'un Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur, une caractérisation de l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées dans la partie intra-muros de Saint-Emilion est prévue par ailleurs. Cependant, étant donnée la continuité qui existe entre les exploitations situées sous le secteur bâti de la ville et celles qui se développent en périphérie immédiate, sous le plateau recouvert de vignobles, il est apparu nécessaire de prolonger cette étude par un examen de l'aléa associé aux carrières situées extra-muros afin de définir d'éventuelles mesures conservatoires à mettre en œuvre pour éviter la propagation vers le bourg d'effondrements susceptibles de se produire en périphérie de la ville. C'est l'objet de la présente étude qui porte sur le secteur sud-ouest de la ville et couvre un tiers environ de cette couronne périphérique sous-cavée.

La présente étude a été confiée au Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM, dans le cadre de ses actions de Service Public, par la Commune de Saint-Emilion, la Préfecture de la Gironde et la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE Aquitaine). Elle est financée sur dotation de Service Public attribuée au BRGM et bénéficie d'un cofinancement de la Commune de Saint-Emilion (dans le cadre d'une convention passée en juin 1998 entre le BRGM et la ville de Saint-Emilion).

1. Méthodologie de l'étude

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'une démarche de longue haleine qui vise à localiser les anciennes carrières souterraines abandonnées, à en répertorier les accès, à en délimiter l'extension et à en caractériser l'état de stabilité, en vue de déterminer les risques éventuels que peut faire courir la dégradation (inéluçtable à long terme) de ces ouvrages sur l'environnement de surface et notamment les bâtiments habités et les voies de circulation.

A Saint-Emilion, cette démarche a été amorcée dès 1972 par le BRGM (Allard, 1972) qui a entrepris une reconnaissance sommaire de l'extension des principales carrières souterraines abandonnées sous le bourg et en périphérie immédiate. A partir de 1978, ce travail d'inventaire et de cartographie des anciennes exploitations de pierres de taille a été poursuivi par le Bureau des Carrières (initialement Service Départemental de l'Inspection des Carrières Souterraines Abandonnées) créé par le Conseil Général de Gironde.

Depuis lors, un travail très important a été entrepris par le Bureau des Carrières pour améliorer la connaissance de l'extension des carrières souterraines abandonnées situées sur la commune de Saint-Emilion. De nombreuses études de stabilité ont été réalisées (principalement par le BRGM et, depuis 1994, par sa filiale de géo-ingénierie ANTEA) soit à la suite d'effondrements survenus sur la voirie, soit à l'occasion de projets d'aménagement de certaines de ces carrières. En 1997 a été initiée, en collaboration entre le BRGM et le Bureau des Carrières, une base de données des carrières souterraines de Gironde qui concerne en particulier la commune de Saint-Emilion.

Malgré ce travail continu d'inventaire, il subsiste de nombreuses lacunes dans la connaissance de l'extension des carrières souterraines abandonnées de Saint-Emilion, surtout pour ce qui concerne les zones situées en périphérie de la ville. La partie intra-muros, qui est de loin la mieux connue, devrait faire l'objet d'une étude spécifique dans le cadre de l'élaboration du Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur. La présente étude vise un objectif complémentaire, à savoir caractériser l'aléa lié à la présence de carrières souterraines abandonnées dans la couronne périphérique située au sud-ouest du bourg.

Le but recherché est double. Il s'agit d'une part d'identifier les risques potentiels que font courir ces carrières sur l'environnement de surface immédiat (voies communales, vignobles et quelques maisons d'habitation ainsi que certains bâtiments recevant du public). Mais il s'agit surtout d'analyser les répercussions que pourrait avoir un effondrement éventuel survenant dans cette zone périphérique, sur la partie du bourg située en contrebas immédiat, d'autant que les carrières qui s'étendent en périphérie de Saint-Emilion se trouvent pour la plupart en continuité directe avec celles situées intra-muros.

Cette caractérisation de l'aléa lié aux carrières souterraines abandonnées extra-muros devrait concerner à terme l'ensemble de la couronne périphérique de Saint-Emilion. Dans un premier temps toutefois, l'étude ne concerne que la partie située au sud-ouest de la ville.

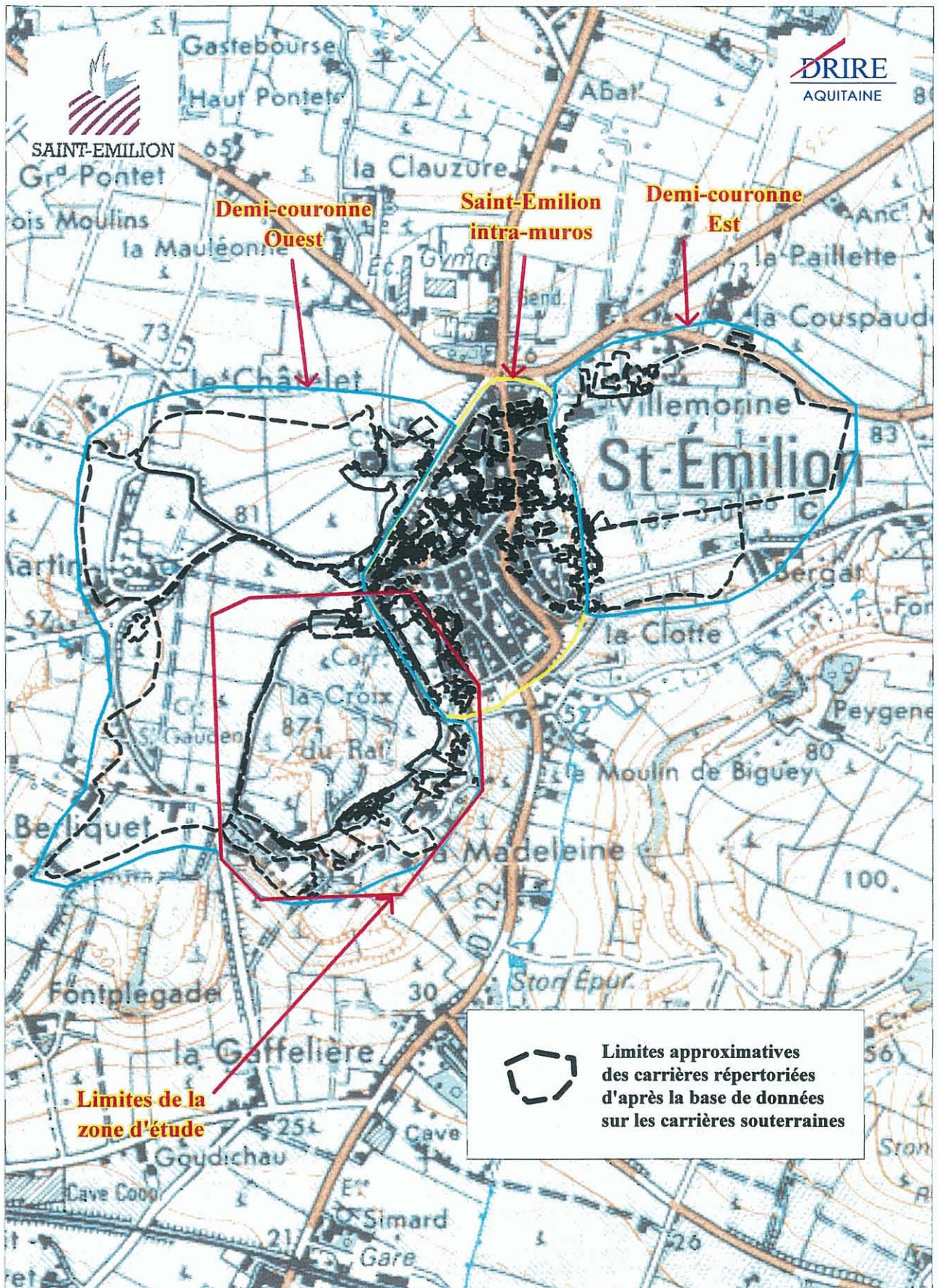


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude, au sud-ouest du bourg de Saint-Emilion.
Positionnement sur fond topographique
extrait de la carte IGN 1636-E, agrandie à l'échelle 1/10 000

Cette zone a en effet été jugée prioritaire non seulement du fait de l'importance des enjeux de surface associés, mais surtout en raison des multiples effondrements qui s'y sont produits dans un passé proche (notamment entre 1994 et 1997).

1.2. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se situe au sud-ouest du bourg de Saint-Emilion (fig. 1). Elle occupe une superficie d'environ 23 ha et couvre un peu plus de la moitié de la couronne périphérique ouest sous laquelle s'étendent des carrières souterraines abandonnées (et environ un tiers de l'ensemble de la couronne périphérique sous-cavée de Saint-Emilion).

La zone d'étude s'étend principalement sur la section cadastrale AO, sauf pour sa limite nord-ouest qui concerne la section AP mais qui se trouve en réalité dans la partie intra-muros de Saint-Emilion (fig. 2). La feuille cadastrale AP est publiée à l'échelle du 1/1 000 mais a été ici réduite (après digitalisation) à l'échelle du 1/2 000 (qui correspond à l'échelle de publication de la section AO) pour permettre une vision globale du secteur d'étude.

La limite nord de la zone d'étude a été placée arbitrairement à mi-chemin entre la route du Milieu (VC n°4) et le chemin de la Pège (VC n°18) afin de pouvoir inclure le chemin de la Pège en totalité dans la zone d'étude. La limite nord-est est sensiblement parallèle à la rue du Couvent et se situe à près de 100 m du rebord du plateau (qui surplombe la rue des Doutes). Elle empiète donc largement sur le domaine urbain, ce qui permet d'inclure dans la zone d'étude toutes les parties sous-cavées qui s'étendent en continu depuis la couronne périphérique jusqu'au secteur intra-muros. Au sud de la Porte Sainte-Marie, la limite Est de la zone d'étude suit le rebord du plateau en restant nettement au pied de celui-ci pour permettre d'englober la totalité des parties exploitées en carrières souterraines.

La limite sud suit également le rebord du plateau (matérialisée grossièrement par la voie communale n° 10) avec un décalage suffisant pour intégrer la totalité des zones sous-cavées connues. A l'ouest, en revanche, la limite a été orientée nord-sud et fixée arbitrairement dans l'axe de la voie communale n°38. La zone d'étude englobe donc la totalité du chemin de la Pège mais il subsiste des carrières souterraines qui s'étendent encore plus à l'ouest (notamment vers Berliquet et Plante-Blé). Toutefois, ces carrières se situent à plus de 300 m (et même 400 m dans la partie sud) des limites du secteur intra-muros proprement dit. Un effondrement se produisant à une telle distance ne pourrait avoir de répercussion sur le centre urbain de Saint-Emilion.

Pour faciliter la compréhension globale de l'agencement des différents niveaux de carrières, il a paru préférable, dans la suite de l'étude et lorsque c'était nécessaire, de déborder légèrement des limites strictes de la zone d'étude telles qu'elles ont été définies. En effet, plusieurs carrières souterraines qui s'étendent principalement dans la zone d'étude sont susceptibles de se prolonger au delà, et il a donc semblé préférable de tenir compte de ces prolongements, quitte à sortir un peu du cadre ainsi défini. Cette option devrait permettre de faciliter l'articulation de la présente étude avec celles qui sont programmées sur le secteur intra-muros et le reste de la couronne périphérique.

1.3. DEMARCHE DE L'ETUDE

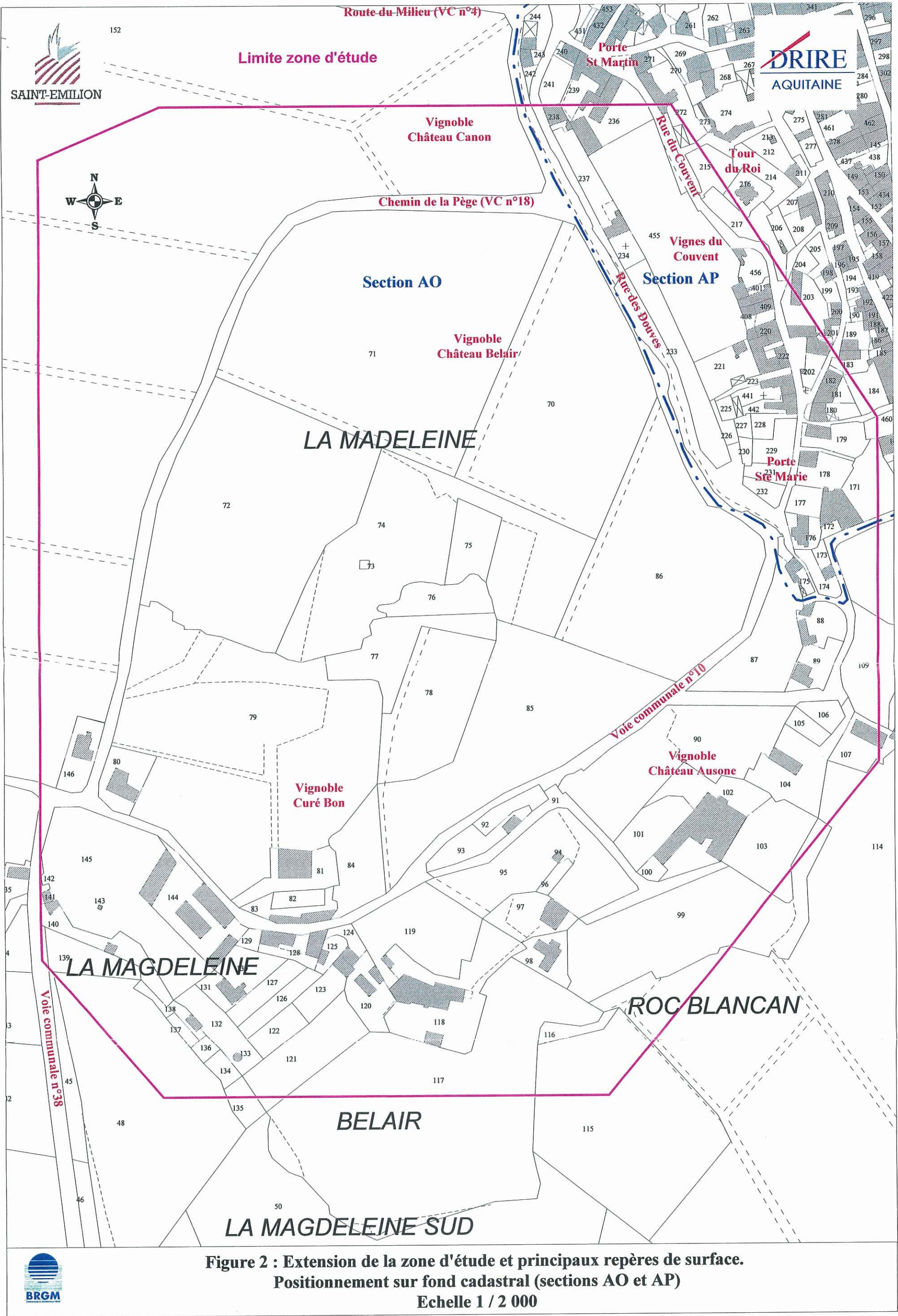
La première étape de l'étude a consisté à réaliser une synthèse des données déjà disponibles concernant les carrières souterraines abandonnées dans la zone étudiée. Depuis les premiers repérages effectués par le BRGM en 1972, de nombreuses études ponctuelles de stabilité ont en effet été réalisées sur les carrières de Saint-Emilion. Une quarantaine de références bibliographiques dont trois thèses ([Allard, 1975], [Rai, 1984] et [Beaufrère, 1987]) ont ainsi été exploitées. Beaucoup concernent des carrières situées en dehors de la zone d'étude proprement dite (principalement dans la partie intra-muros de Saint-Emilion), mais elles donnent néanmoins de précieuses indications, notamment sur les caractéristiques physiques et mécaniques du calcaire exploité, ainsi que sur l'occurrence des effondrements passés (reconstituée à travers les archives du Service des Mines qui ont été analysées par le Bureau des Carrières).

Cette revue bibliographique a aussi permis d'ébaucher une reconstitution de la géométrie des carrières souterraines dans la zone d'étude à partir des relevés topographiques existants qui nous ont été communiqués par le Bureau des Carrières, ainsi que par l'exploitation de la base de données informatisée sur les carrières souterraines (Bichot et al., 1997). Un recensement des accès aux carrières souterraines de Saint-Emilion réalisé en parallèle (Trébucq, 1998) et l'examen de neuf procès verbaux de visite rédigés par le Bureau des Carrières (Peragallo, 1997 à 98) ont également permis de préciser la géométrie des zones sous-cavées.

Dans un deuxième temps, l'ensemble des carrières souterraines accessibles situées dans la zone d'étude et en périphérie immédiate a fait l'objet de visites (douze au total) effectuées conjointement par le BRGM et le Bureau des Carrières entre juin 1998 et mai 1999. Ces visites ont permis de déterminer la disposition des différents niveaux de carrières souterraines et leur extension (au moins de manière approximative pour les carrières qui n'ont pas fait l'objet de levés topographiques détaillés).

Par ailleurs, ces observations in situ ont conduit à analyser les différents types d'effondrements qui se sont déjà produits dans la zone et ont permis d'établir un diagnostic sommaire de l'état de dégradation des carrières et de la nature des risques d'instabilité potentielle (estimation des épaisseurs de recouvrement, repérage des fontis éventuels et des zones karstiques, observation des piliers et du banc de toit pour repérer des signes de fissuration mécanique, etc.).

Des levés topographiques ont alors été réalisés dans la zone d'étude pour compléter les informations déjà disponibles (qui sont malheureusement très parcellaires). Etant donnée l'importance des surfaces sous-cavées, un relevé détaillé de toutes les carrières de la zone était matériellement impossible dans la limite du budget disponible. La priorité a donc été accordée au repérage planimétrique et altimétrique de certains accès aux carrières (bouches de cavage et puits).



Ces levés topographiques ont été confiés au cabinet de géomètres experts Deschamps et réalisés par GPS (Global Positioning System), complété par des levés traditionnels pour certains points inaccessibles (bouches de cavage situées sous des surplombs par exemple). Ils ont permis de repérer et niveler au total 26 puits de jour et 44 entrées de carrières situées dans la zone d'étude. Pour chacun de ces objets a été éditée une fiche signalétique comprenant un croquis sommaire et les repères principaux. La cote du terrain naturel a également été mesurée en différents points, notamment à proximité des effondrements de surface et le long de trois profils.

Plusieurs levés topographiques réalisés antérieurement dans la zone ont également été rattachés au système de référence NGF (Nivellement Général de la France) à l'occasion de cette étude et un canevas de repères a été implanté à proximité de certains accès aux carrières afin de permettre le calage de levés ultérieurs. Tous les points levés sont rattachés en coordonnée Lambert en planimétrie et leur cote altimétrique est rattachée au système NGF. Les principaux résultats de ces levés topographiques figurent en annexe 1.

Ces levés ont permis de préciser les cotes altimétriques des différents niveaux de carrières (au moins au droit des entrées) et d'évaluer certaines épaisseurs de recouvrement. Ils ont aussi autorisé un calage du niveau piézométrique de la nappe, mesuré à partir de quelques puits situés dans la zone d'étude. Il s'est avéré cependant nécessaire de les compléter par des cheminements en souterrain dans la partie centrale du plateau (à l'ouest de la voie communale n°10) où aucun levé détaillé n'a été fait jusqu'à présent. L'objectif de cette deuxième campagne de mesures topographiques était d'implanter des points de repères (connus en planimétrie et en altimétrie) dans cette zone afin de fixer approximativement les limites d'extension des surfaces sous-cavées et de tracer des coupes en travers montrant la superposition des différents niveaux de carrières le long des profils en long repérés en surface.

Le cahier des charges de cette deuxième campagne de levés a été rédigé dans le cadre de la présente étude et sa réalisation en a été confiée au cabinet de géomètres experts Boyé. Le financement de cette campagne a été assuré conjointement par les propriétaires des deux principaux vignobles situés au-dessus de la zone de levés, à savoir Château Belair et Château Canon, ce qui témoigne de l'intérêt que portent à la présente étude les riverains concernés. Qu'ils en soient remerciés dans la mesure où cette deuxième série de levés topographiques a contribué à affiner la connaissance des carrières souterraines dans le secteur d'étude. Les principaux résultats de cette deuxième campagne de mesures figurent en annexe 2.

L'ensemble de ces observations de terrain a permis de reconstituer (de manière approximative pour les zones où l'on ne dispose pas de levés détaillés) la disposition des différents niveaux de carrières. La synthèse de ces observations et des données bibliographiques recueillies, complétée par quelques calculs analytiques de stabilité, ont finalement permis d'aboutir à une série de recommandations quant aux mesures à prendre vis à vis du risque lié à la présence de ces carrières souterraines abandonnées dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion, en périphérie immédiate de la ville.

2. Cadre géologique

2.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

2.1.1. Contexte géologique

Les formations calcaires qui ont été exploitées en carrières souterraines à Saint-Emilion sont appelées classiquement « Calcaire à astéries » et datent de l'Oligocène inférieur (anciennement attribué au Stampien, mais correspondant en fait à l'étage du Rupélien, selon la nomenclature actuelle).

Cette formation repose sur des terrains plus tendres, correspondant à des dépôts fluviaux, fluviolacustres, palustres et marins, datant de l'Oligocène inférieur et que l'on retrouve au pied des plateaux, en limites sud et sud-est de la zone d'étude. Ces formations sont constituées, à la base, de sables et argiles carbonatées (classiquement appelées « Molasses du Fronsadais »), puis d'un niveau d'argiles carbonatées compactes localement appelées « Argiles de Castillon ». Ce dernier niveau, relativement imperméable, est localement peu épais (quelques mètres seulement) et sa limite supérieure, dans la zone d'étude, se situe vers la cote 60 m NGF.

La formation du Calcaire à astéries s'étend localement entre les cotes 60 et 85 m NGF (le point culminant du plateau, dans la zone d'étude, se trouvant à 87 m NGF), ce qui représente une puissance maximale de 25 m. Les premiers mètres, à la base de la formation (sous la cote 63 m NGF), sont constitués de calcaires argileux à oncolithes, disposés en bancs décimétriques à métriques, entre lesquels s'intercalent des niveaux ou des lentilles irrégulières d'argiles brunes à vertes, finement laminées. La porosité de ce niveau de base est assez faible (15 à 20 %).

Il est surmonté d'une série massive de calcaires bioclastiques jaunâtres disposés en lits centimétriques à stratification entrecroisée. C'est cette formation de calcaires tendres, massifs et friables, très poreux (porosité moyenne proche de 40 %) qui a été exploitée en carrières souterraines à Saint-Emilion, sur une épaisseur parfois supérieure à 15 m.

Dans la zone d'étude, le toit de cette formation calcaire affleure directement. Sur le plateau, il est recouvert d'un sol brun calcaire sablo-limoneux. Des sondages systématiques à la tarière selon une maille de 25 x 25 m ont été effectués sur les 7 ha appartenant au Château-Belair sur la plateau, au centre de la zone d'étude (Trégoat, 1997). Ils indiquent que le sommet de la dalle calcaire se situe selon les endroits entre 0,25 et 1,20 m. Il semblerait qu'il existe localement des accumulations de terre rapportée, d'origine anthropique, mais l'épaisseur du recouvrement au dessus du premier banc calcaire reste modeste.

2.1.2. Caractéristiques lithologiques du Calcaire à astéries

Des études géologiques détaillées réalisées à l'extérieur de la zone d'étude, dans la carrière de la Porte Saint-Martin (Beaufrère, 1987) et dans l'Eglise Monolithe (Vouvé, 1990), ont mis en évidence la juxtaposition de plusieurs faciès distincts dans cette formation. On distingue notamment un faciès (A) grainstone (c'est à dire à grains jointifs sans phase de liaison), à oncolithes et éléments détritiques (lithoclastes et grains de quartz) abondants. Le diamètre moyen des éléments figurés est compris entre 0,5 et 1 mm (et atteint au maximum 15 mm).

Ce faciès est prépondérant à l'étage supérieur de la carrière de la Porte Saint-Martin et constitue l'essentiel des piliers de l'Eglise Monolithe, entre les cotes 64 et 68 m NGF.

Un deuxième faciès (B) quasiment absent de la carrière de la Porte Saint-Martin est représenté au sommet des piliers de l'Eglise Monolithe, entre les cotes 70 et 74 m NGF. Il s'agit également d'un calcaire grainstone mais à cimentation intergranulaire bien développée, à bioclastes abondants (constitués essentiellement d'algues, de foraminifères et d'échinodermes) et à grains de quartz relativement fréquents. Le diamètre moyen des éléments figurés est compris entre 1 et 1,5 mm (et atteint au maximum 20 mm).

Un troisième faciès (C) a été identifié essentiellement au niveau inférieur de la carrière de la Porte Saint-Martin et à la base des piliers de l'Eglise Monolithe, sous la cote 64 m NGF. Il s'agit d'un calcaire grainstone-packstone (c'est à dire à grains jointifs mais enrobés dans une matrice fine) à bioclastes abondants (constitués surtout de bryozoaires, d'algues, de foraminifères, d'échinodermes et de polypiers) et à grains de quartz assez fréquents. Le diamètre moyen des éléments figurés est compris entre 1 et 2 mm (et atteint au maximum 30 mm).

Un quatrième faciès (D) a été reconnu au niveau inférieur de la carrière de la Porte Saint-Martin mais pas dans l'Eglise Monolithe. Il s'agit d'un calcaire packstone-grainstone à bioclastes abondants (constitués surtout d'algues et de foraminifères, et secondairement de bryozoaires, d'échinodermes et de polypiers) et à grains de quartz assez fréquents. Le diamètre moyen des éléments figurés est de l'ordre de 1 mm (et peut atteindre 10 mm).

Enfin, un cinquième faciès (E) a été identifié ponctuellement au niveau inférieur de la carrière de la Porte Saint-Martin et serait absent de l'Eglise Monolithe. Il s'agit d'un calcaire packstone-wackestone (c'est à dire dont la texture est constituée d'une matrice fine mais qui contient quand même plus de 10 % de grains) à bioclastes abondants (constitués surtout d'algues et de foraminifères) et à grains de quartz assez fréquents. Le diamètre moyen des éléments figurés est compris entre 0,5 et 1 mm (et peut atteindre 30 mm). Ce faciès apparaît en bancs compacts pluridécimétriques intercalés de niveaux argileux brun-verts de quelques centimètres d'épaisseur.

Par ailleurs, la partie terminale de la formation du Calcaire à astéries se caractérise à Saint-Emilion par la présence de deux bancs d'épaisseur métrique, constitués d'un calcaire grainstone-packstone riche en foraminifères et relativement compact (porosité évaluée entre 20 et 35 %). Ces deux bancs sont séparés par un mince niveau d'argile brun-verdâtre. Le toit de la carrière de la Porte Saint-Martin (niveau supérieur) correspond au premier de ces bancs calcaires.

Cette formation du Calcaire à astéries se caractérise donc par des variations importantes de faciès tant horizontales que verticales, qui se traduisent par une grande variabilité des caractéristiques physiques (porosité en particulier) et surtout mécaniques du matériau. Cette variabilité a été très bien mise en évidence lors de l'étude de l'Eglise Monolithe (Antoinet et al., 1998) à l'occasion de la réalisation de deux forages carottés distants de 40 m et présentant, pour une même cote altimétrique, des faciès sensiblement différents.

Ces variations sont liées au milieu de dépôt (constitué d'une plate-forme littorale avec des zones d'hydrodynamisme distincts) et à la succession d'au moins deux épisodes transgressifs marqués. La sédimentation est à prédominance carbonatée bioclastique et récifale, mais coexiste localement avec l'apport de matériaux terrigènes au sein de chenaux d'alimentation.

2.1.3. Caractéristiques structurales

Ces formations calcaires se caractérisent par des structures sédimentaires obliques (avec des pendages atteignant 30°), d'épaisseur centimétrique, souvent entrecroisées (fig. 3), parfois en berceau d'extension décamétrique. Des structures en poches ou lenticulaires sont également visibles par endroits. Ces structures (et la nature des éléments figurés) sont caractéristiques d'un milieu de dépôt constitué d'une zone de chenal de la plate-forme interne, située à proximité du littoral.

Les fissures post-sédimentaires mais d'origine géologique (c'est à dire antérieures à l'excavation des carrières) qui affectent le massif calcaire ont fait l'objet de relevés systématiques (840 fissures mesurées) dans la carrière de la Porte Saint-Martin (Beaufrère, 1987). L'intensité de fissuration (longueur cumulée des fissures par unité de surface de la carrière) s'élève, dans la carrière étudiée, à 0,12 m/m² au niveau inférieur et à 0,2 m/m² au niveau supérieur (soit près du double). Cette observation selon laquelle l'intensité de fissuration serait maximale dans les zones où le recouvrement est le plus faible a été confirmée par ailleurs et serait liée à des phénomènes de décompression superficielle.

L'orientation préférentielle des fissures géologiques (toujours dans la carrière de la Porte Saint-Martin) se situe principalement entre N 90° et N 120° (avec un pôle secondaire entre N 170° et N 20°). Ceci est à mettre en relation avec la tectonique régionale. Les fractures principales, de direction parallèle à l'axe des voûtures anticlinales de Saint-Emilion, Montagne et Lussac (plis liés à la compression pyrénéenne, à l'Eocène moyen et supérieur), correspond à des fractures d'extrados de plis. La famille secondaire de fissures pourrait être liée au rejeu en décrochement des fractures de direction varisque (anté-tertiaire).

Les phénomènes de karstification sont souvent liés à la fracturation géologique du massif (il existe également des karsts stratiformes, associés à l'existence de discontinuités sédimentaires ou à la dissolution de lentilles de calcaire grossier plus perméable, mais de tels phénomènes semblent peu répandus à Saint-Emilion). La karstification du Calcaire à astéries aurait débuté dès la fin de l'Oligocène, suite à l'émersion de l'ensemble de la zone et se serait poursuivie en passant par plusieurs phases de creusement et de colmatage, au gré des variations régionales du niveau de base, jusqu'à la transgression flandrienne.

2.2. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Les observations de terrain dans la zone d'étude proprement dite confirment l'extrême variabilité spatiale des faciès du Calcaire à astéries. Les différents faciès décrits dans la carrière de la Porte Saint-Martin se retrouvent effectivement dans les autres carrières visitées mais une cartographie de leur répartition spatiale (en trois dimensions) semble difficile à réaliser à l'échelle de la zone étudiée, du fait de la grande variabilité, tant horizontale que verticale, de ces faciès.

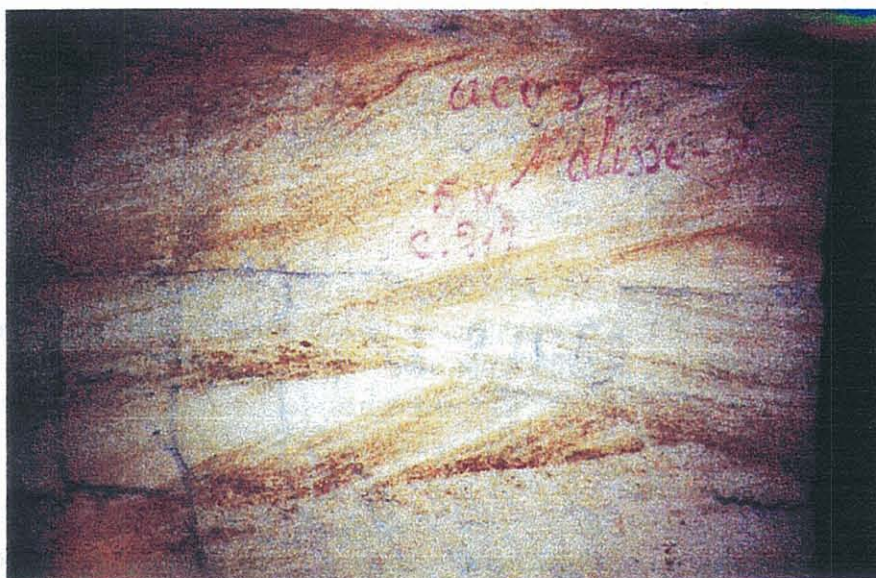


Figure 3 - Figures de stratification entrecroisée sur un pilier dans le chai de Château-Belair (niveau intermédiaire, cavité 3.4)

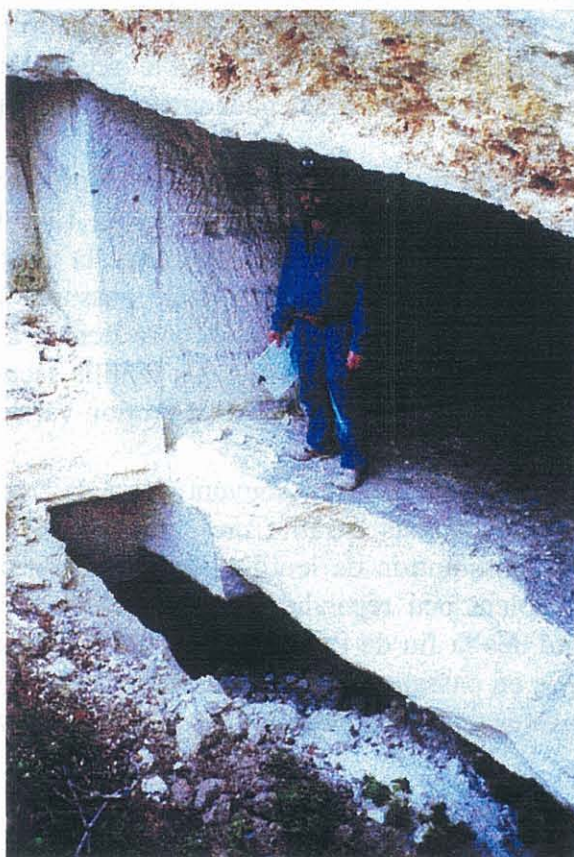


Figure 4 - Niveau de calcaire friable, à grains grossiers et faible degré de cimentation, au toit du niveau superficiel de la carrière, en bordure nord de l'effondrement de 1997 (niveau superficiel, cavité 1.6, et amorce du niveau supérieur, cavité 2.2, séparée de la précédente par une planche intermédiaire peu épaisse)

On observe en particulier des lentilles de calcaire très friable, à grains grossiers, riches en polypiers et en bivalves de taille centimétrique (faciès de type A). Ces lentilles sont d'extension décamétrique et leur puissance dépasse localement 1 à 2 m. Or ce type de calcaire grossier, à très faible cohésion, se retrouve en bordure de plusieurs zones effondrées. On trouve notamment une telle lentille au toit des galeries du niveau supérieur, en bordure nord du dernier effondrement majeur qui s'est produit dans les vignes de Château Belair en 1997 (fig. 4). On observe également le même type de calcaire grossier très friable, en limite sud de l'effondrement qui s'est produit en 1994 à l'ouest de la rue des Douves. Dans ce cas, il constitue la planche intermédiaire (rompue) entre les galeries des niveaux supérieur et inférieur, à quelques mètres du fontis.

Une carte de répartition de ces lentilles de calcaire friable constituerait un guide utile pour identifier les zones de fragilité particulière. Pour la dresser, un simple examen visuel ne suffit pas et il faudrait effectuer des prélèvements réguliers dans le toit et les piliers, dans la mesure où il ne s'agit pas de niveaux lités d'extension continue. Une telle analyse pourrait d'ailleurs être considérablement enrichie si elle était couplée à une campagne de mesures in situ des propriétés mécaniques du calcaire. Pour cela, la technique a priori la mieux adaptée (Allard, 1972) serait celle des essais de traction indirecte (fendage par écrasement entre deux pointes d'un échantillon de forme quelconque, au moyen d'une presse portative de type presse Franklin). Une telle campagne de mesures systématiques dépasse cependant le cadre de la présente étude.

Une autre observation, effectuée à l'occasion des visites en carrières, concerne la relative continuité du niveau argileux situé au-dessus du premier banc de toit. Il s'agit d'un niveau très mince, de 5 à 20 cm d'épaisseur, d'argile marneuse gris bleuté, très finement litée (fig. 5). Ce niveau est présent de manière apparemment quasi continue, à une distance variant entre 20 cm et 1 m au-dessus du toit des galeries du niveau supérieur, mais il n'est visible que ponctuellement, en cas de chute de toit ou en limite d'effondrement.

On l'observe notamment en bordure de l'effondrement survenu en 1997 dans le vignoble de Belair (fig. 6), de même qu'autour de la plupart des fontis anciens survenus dans les différentes galeries du niveau supérieur, ainsi que dans la planche intermédiaire qui sépare le niveau supérieur en deux galeries superposées, au sud-ouest de l'effondrement de 1994. On le retrouve enfin en plusieurs points du niveau supérieur, où ce niveau argileux a servi de surface de décollement, provoquant la chute du premier banc de toit, parfois sur plusieurs dizaines de m². Dans les niveaux inférieurs, des joints argileux sont également observés mais ils ne présentent pas la même continuité qu'au toit du niveau supérieur.

En ce qui concerne les phénomènes karstiques qui affectent le massif calcaire et qui sont généralement recoupés par les exploitations souterraines, leur occurrence n'est pas particulièrement importante dans la zone d'étude. Il existe néanmoins des poches karstiques, de forme lenticulaire, au toit des niveaux supérieurs de certaines galeries. C'est en particulier le cas en bordure de l'effondrements de 1997 (fig. 7), mais aussi au sud-ouest de celui-ci où on observe une cheminée karstique, de 1 m de diamètre, qui débouche au toit de la carrière et qui conduit à une cavité naturelle de 8 m de diamètre et 1 à 2 m de hauteur, développée au-dessus du toit de la carrière.

Des réseaux karstiques naturels à développement horizontal sont également visibles au travers de certains piliers, toujours au niveau supérieur (fig. 8).

Enfin, on observe localement des réseaux assez denses de fractures karstiques à remplissage argileux, au toit de certaines galeries. Il est à noter que ces fractures sont parfois le siège de circulations acqueuses importantes. Ceci vaut surtout pour les galeries du niveau supérieur mais on observe localement des infiltrations d'eau abondantes au niveau inférieur, par l'intermédiaire d'un conduit karstique débouchant au toit. Etant donné que ces galeries se trouvent au-dessus du niveau de la nappe, on peut penser qu'il s'agit là d'infiltrations qui s'accumulent périodiquement au-dessus du niveau argileux et qui sont drainées localement par le réseau karstique.

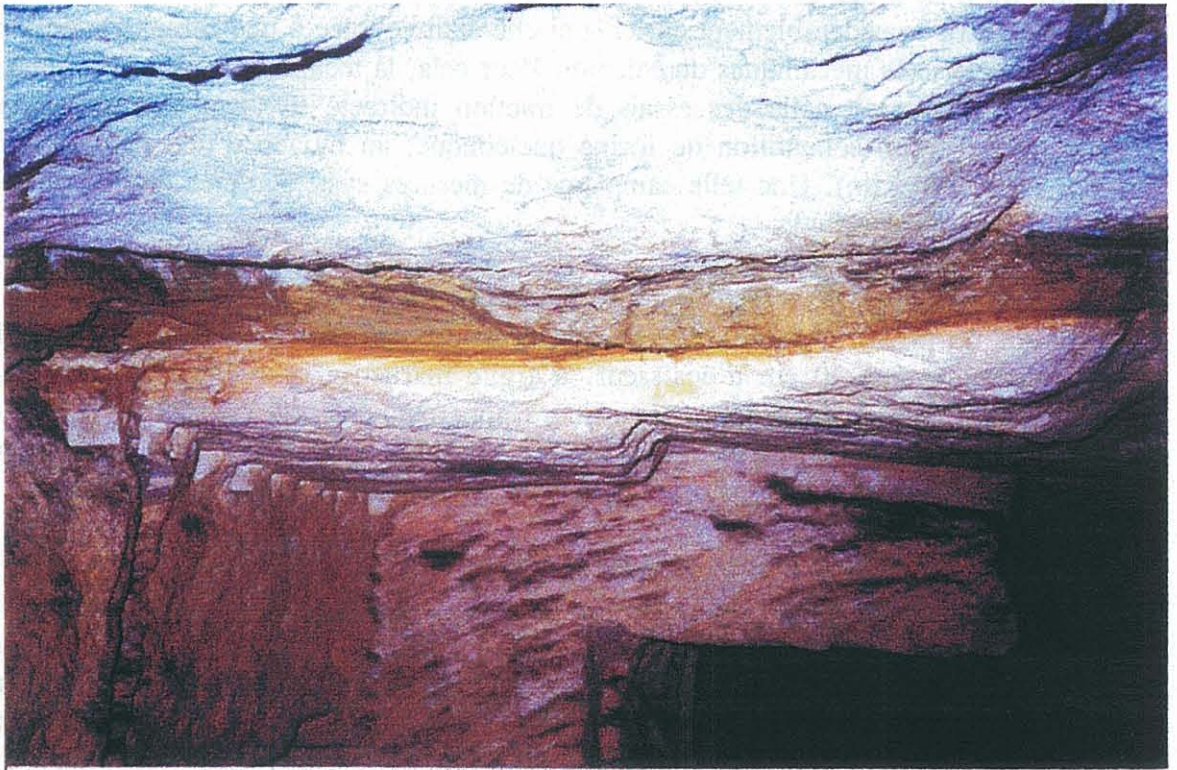


Figure 5 - Niveau argileux, d'épaisseur 5 à 10 cm, situé à 30 cm au-dessus du toit de la carrière (niveau superficiel, cavité 1.6, au nord-est de l'effondrement de 1997) et ayant provoqué une chute (ancienne) du premier banc de toit

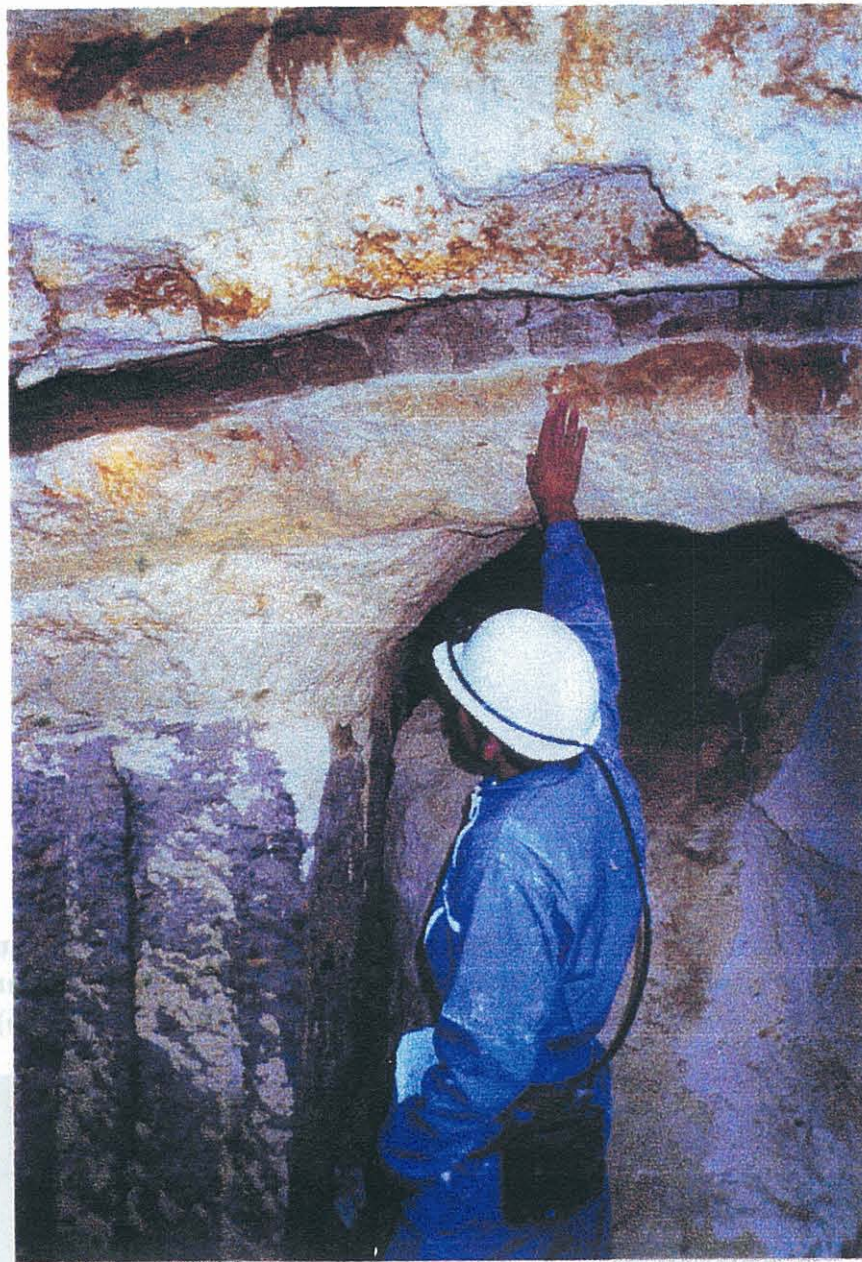


Figure 6 - Niveau d'argile grise, au-dessus du toit de la carrière (cavité 2.2, niveau supérieur) en limite de zone effondrée (bordure sud-ouest de l'effondrement de 1997)



Figure 7 - Poche karstique stratiforme au dessus du toit du niveau superficiel de la carrière, en bordure est de l'effondrement de 1997 (niveau supérieur, cavité 2.2, et amorce du niveau superficiel en mezzanine, cavité 1.6)



Figure 8 - Poche karstique stratiforme laissée en place dans un pilier, au niveau supérieur du chai de Château-Belair (niveau supérieur, au sud-ouest de la cavité 2.2)

3. Cadre hydrogéologique

3.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Les seules données bibliographiques existantes sont issues des observations faites à l'occasion du diagnostic de stabilité concernant l'Eglise Monolithe (Vouvé, 1990). L'étude hydrogéologique réalisée à cette occasion met en évidence l'existence d'une nappe à la base du Calcaire à astéries. Le mur de cette nappe superficielle est constitué par les niveaux argileux qui se trouvent sous la base des formations calcaires exploitées en carrières souterraines.

Des relevés piézométriques ont été effectués régulièrement de décembre 1988 à juin 1990 sous le bourg de Saint-Emilion (donc en dehors de la zone d'étude, au nord-est de celle-ci), dans 26 puits traditionnels, un piézomètre, trois sources et une fosse (en communication temporaire avec la nappe). Trois de ces points de mesure ont été équipés de piézographes pour permettre un enregistrement en continu.

La campagne de mesures a coïncidé avec une période de sécheresse exceptionnelle et la plupart des points de mesure enregistrent une baisse régulière du niveau piézométrique, quasi continue pendant dix-huit mois, avec de faibles fluctuations ponctuelles. La baisse du niveau piézométrique atteint jusqu'à 2 m dans certains puits (carrière du Musée). Cette série de mesures a du moins permis de tracer une carte piézométrique de cette nappe sous le bourg de Saint-Emilion pour le mois de novembre 1989 qui correspond donc à une situation de basses eaux (l'étiage le plus sévère ayant été enregistré en novembre 1990, avec une baisse de niveau supplémentaire qui atteint 40 à 50 cm pour les points les plus réactifs). Il est à noter au passage que les mesures de 1989 étaient légèrement perturbées par l'injection périodique d'eaux usées directement dans la nappe, mais que ce phénomène a disparu depuis, du fait du raccordement généralisé au réseau communal.

Cette carte piézométrique de basses eaux est représentée sur la figure 9. Elle montre l'existence d'un axe de drainage d'orientation NNO- SSE, sensiblement centrée sur la rue Vergnaud, dans le centre du bourg, et dirigée vers la plaine. La source de l'Ermitage, située en amont de cet axe de drainage à la cote 60 m NGF, quasiment au toit du substratum argileux, représente localement le niveau de base de la nappe. Sur le versant du plateau est (le seul pour lequel il existe des mesures), le gradient hydraulique est relativement élevé : de l'ordre de 4 % au nord-est de la ville.

Les mesures piézométriques dans le bourg de Saint-Emilion se sont poursuivies jusqu'en décembre 1997. Une nouvelle carte piézométrique correspondant cette fois à une situation de hautes eaux, a été dressée en date du 7 avril 1995 et a été également reproduite en figure 9. Les fluctuations périodiques de la nappe ont été enregistrées de manière plus ou moins régulières durant la même période et les courbes de plusieurs piézographes sont publiées dans le récent rapport d'étude concernant l'Eglise Monolithe (Antoinet et al., 1998).

Ces courbes font état de variations maximales pouvant atteindre 3 m pour les points les plus réactifs (carrière du Musée) mais ne dépassant pas 50 cm pour les points situés dans le thalweg, à proximité du niveau de base de la nappe (carrière des Catacombes, source de l'Ermitage).

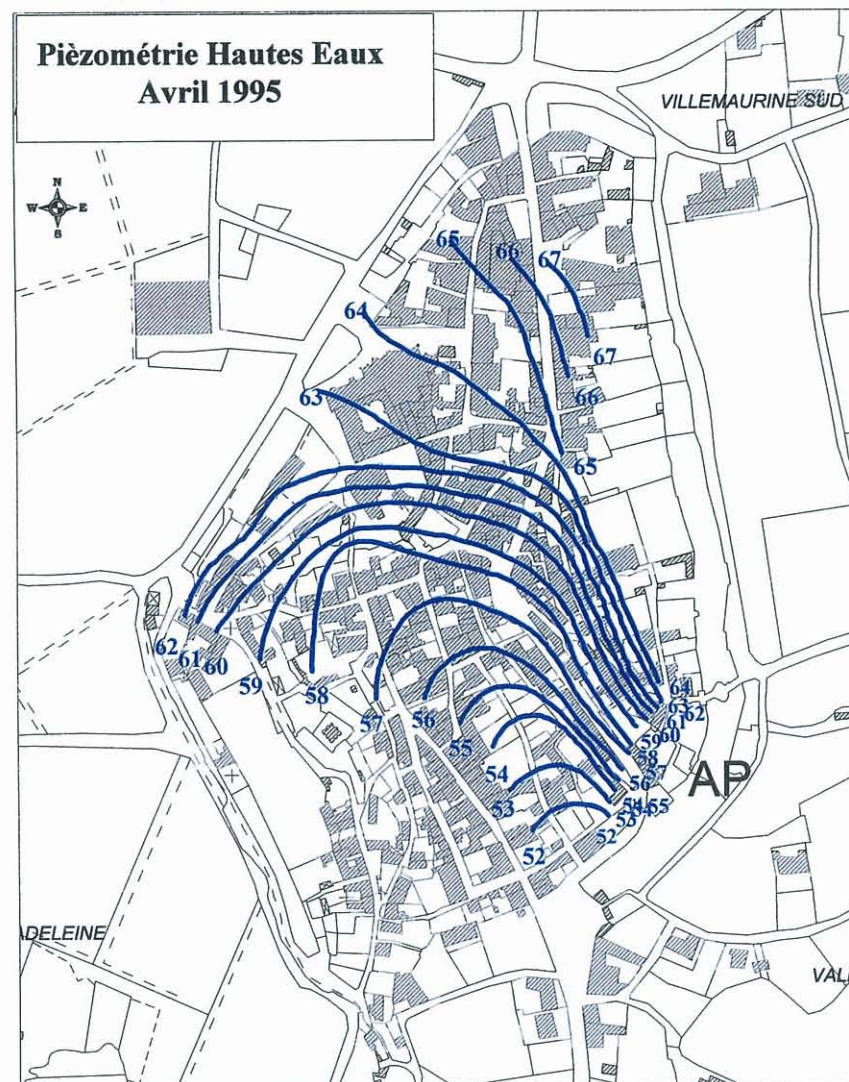
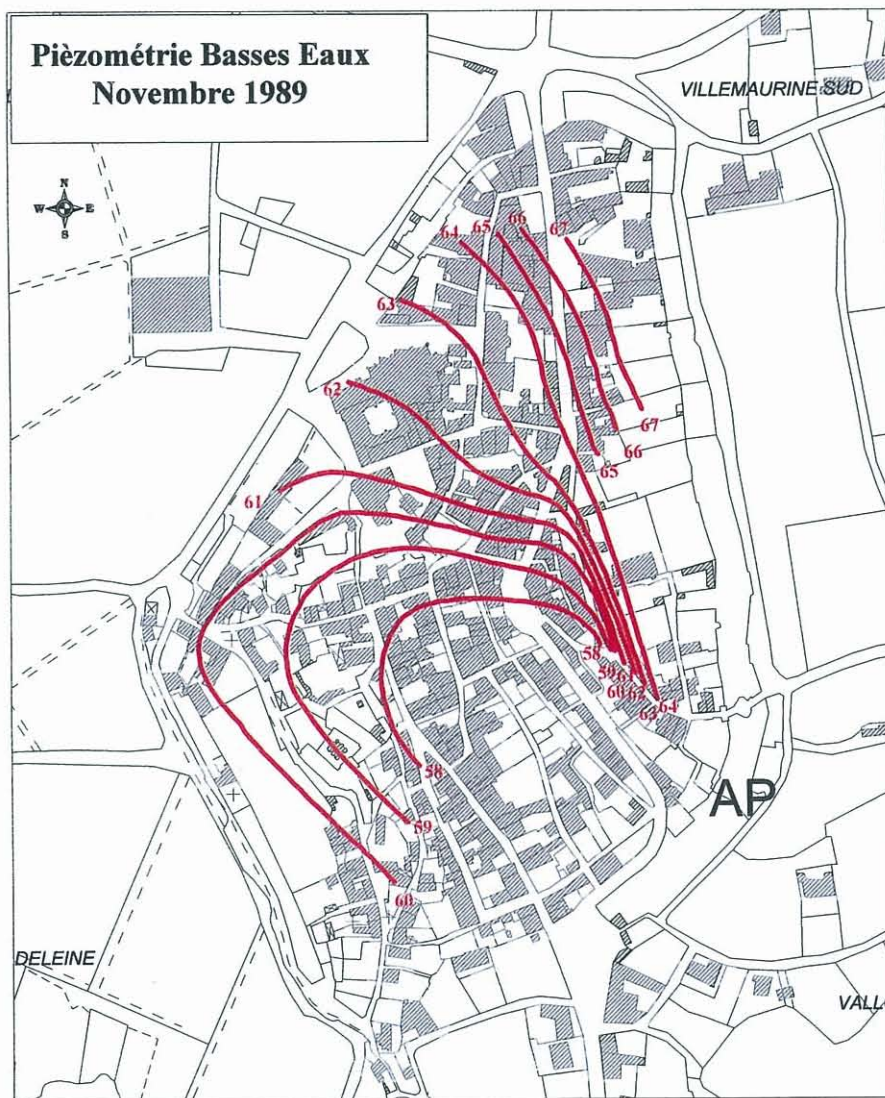
3.2. MESURES PIEZOMETRIQUES

Les cartes piézométriques disponibles étant localisées dans la partie centrale du bourg de Saint-Emilion, il a paru nécessaire de procéder à des mesures complémentaires dans la zone d'étude proprement dite. Une quarantaine de points d'eau (dont les deux-tiers seulement se situent dans la zone d'étude stricto sensu) ont ainsi été repérés et leurs caractéristiques principales sont indiquées en annexe 3. Trente-quatre d'entre eux ont fait l'objet d'un nivellement topographique spécifique (la plupart dans le cadre de la présente étude). La cote de surface des autres a été extrapolée à partir de repères connus situés à proximité. Certains de ces puits ne sont plus accessibles actuellement, car rebouchés en surface de manière plus ou moins définitive. D'autres sont secs du fait d'un comblement partiel ou suite à un éboulement.

En définitive, ce sont dix-huit points qui ont fait l'objet de mesures piézométriques significatives, dont dix seulement situés dans la zone d'étude proprement dite. Cinq de ces puits avaient déjà été mesurés par Vouvé et peuvent faire l'objet de comparaison entre les différentes campagnes de mesure : il s'agit des deux puits de la mairie, du piézomètre des Catacombes, du puits de la Porte Saint-Martin et du puits situé dans la carrière en bordure des Douves. Pour l'ensemble de ces points d'eau, les valeurs mesurées en mars 1999 (c'est à dire en principe en période de hautes eaux) sont comprises entre celles observées en novembre 1989 (basses eaux) et celles d'avril 1995 (hautes eaux). Il est à noter que la variation entre ces deux situations, considérées comme extrêmes sur la période 1988-1997, est comprise pour ces cinq points de mesure entre 0,25 m (Catacombes) et 2,30 m (puits des Douves).

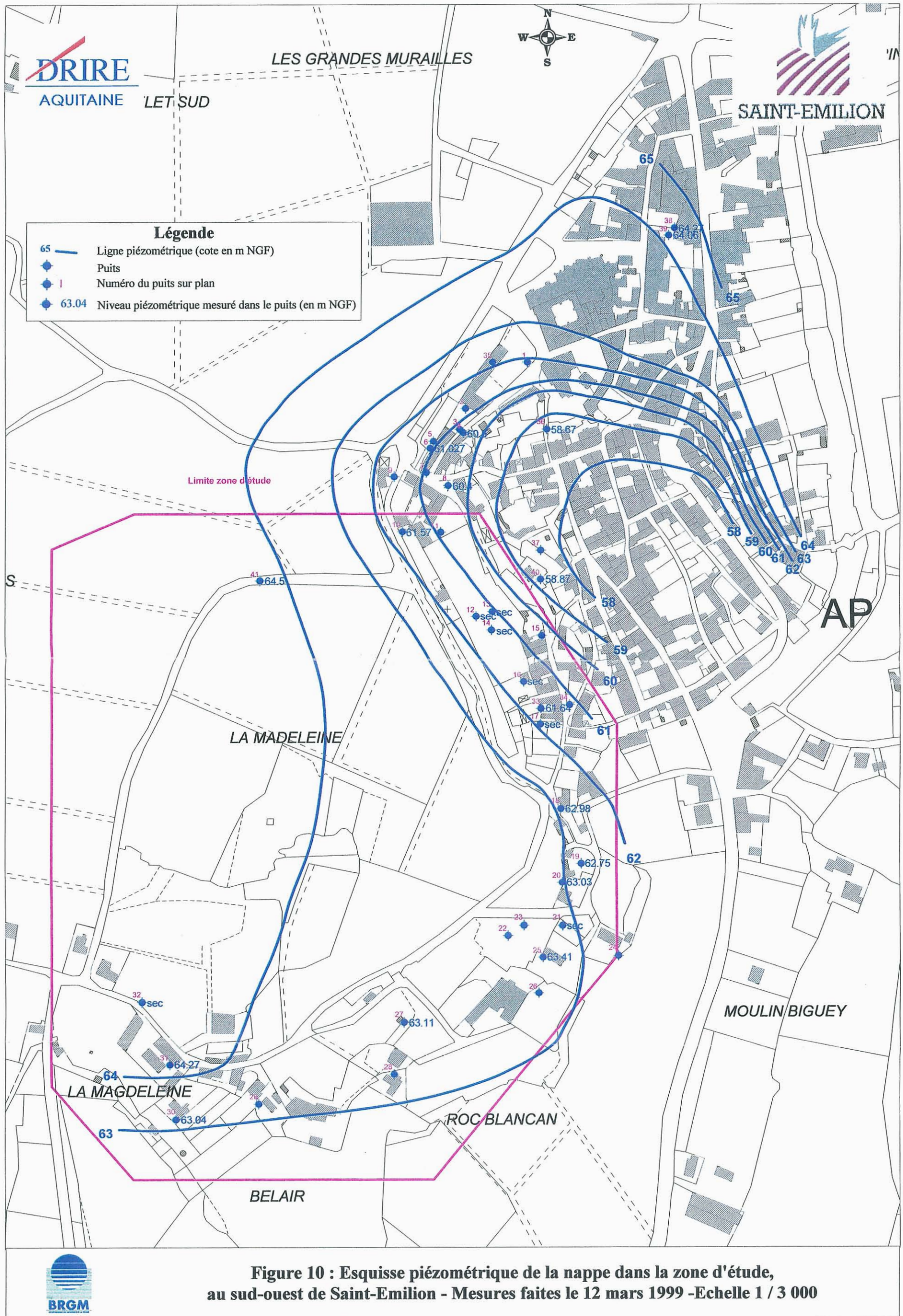
Une esquisse piézométrique de la zone d'étude a ainsi été tracée à partir des mesures effectuées le 12 mars 1999 (fig. 10). Pour le secteur situé sous le bourg de Saint-Emilion, les lignes piézométriques ont été prolongées par extrapolation, à partir des cartes piézométriques de Vouvé, calées avec les quelques points suivis dans cette zone.

Cette esquisse piézométrique montre que sur l'ensemble du plateau qui constitue l'essentiel de la zone d'étude, le niveau de la nappe se situe aux environs de la cote 64 m NGF (soit à une profondeur moyenne de 18 à 20 m par rapport au terrain naturel). Les seules valeurs mesurées sur le plateau sont respectivement de 64,30 m (puits de La Madeleine, au sud-ouest de la zone) et de 64,50 m (trou d'eau en carrière, sous le chemin de la Pège). Le gradient hydraulique sur le plateau est inférieur à 1 %. Il augmente rapidement en bordure du plateau où il passe à 3 puis 4 % (ce qui reste très inférieur aux valeurs observées par Vouvé sur le versant oriental du thalweg). En limite nord-est de la zone d'étude, dans la partie la plus proche de l'axe de drainage, le niveau de la nappe se situe entre 59 et 60 m NGF, soit très proche de son niveau de base.



**Figure 9 : Cartes piézométriques de la nappe superficielle sous le bourg de Saint-Emilion.
Mesures communiquées par Vouvé (Cotes NGF en m)**

Echelle : 1 / 5 000



4. Données géotechniques

4.1. ANALYSE CRITIQUE DES DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

L'analyse des données bibliographiques a permis de relever au total onze références faisant état de prélèvements de calcaire dans les anciennes carrières de Saint-Emilion en vue de réaliser des essais géotechniques en laboratoire. Cette revue bibliographique n'est pas exhaustive dans la mesure où certaines études concernant la partie est de Saint-Emilion n'ont pas pu être exploitées et que plusieurs rapports (dont le plus récent concernant la stabilité de l'Eglise Monolithe) n'ont pu être consultés que partiellement, mais elle regroupe les principales données disponibles à proximité immédiate de la zone d'étude.

Les points de prélèvements pour essais géotechniques, selon cette revue bibliographique, seraient au nombre de trente. Les caractéristiques des prélèvements effectués sont précisées dans le tableau de l'annexe 4.1 qui indique, pour chaque prélèvement, la référence bibliographique correspondante, la localisation du prélèvement (avec le niveau de carrière correspondant), et la nature des essais géotechniques réalisés en laboratoire.

Les trente points de prélèvement ainsi répertoriés sont positionnés, en annexe 4.2, sur fond cadastral réduit à l'échelle 1/3 500. Cette carte de localisation montre que la quasi totalité des prélèvements réalisés à ce jour pour essais géotechniques en laboratoire se situe en dehors de la zone d'étude, à l'exception de trois échantillons prélevés dans un bloc calcaire détaché du toit, dans un niveau superficiel de carrière occupé par les chais du Château Magdeleine (Lhoste, août 1995). La plupart des autres points de prélèvement concernent soit l'Eglise Monolithe ([Vouvé, 1990], [Denis et al., 1991], [Antoinet et al., 1998]), soit la carrière de la Porte Saint-Martin ([Rai, 1984] et [Beaufrère, 1987]). Tous les prélèvements pris en compte se trouvent toutefois à moins de 300 m des limites de la zone d'étude.

Tous les résultats des essais géotechniques effectués sur ces prélèvements ont été résumés dans les tableaux des annexes 4.3 (caractéristiques physiques du matériau) et 4.4 (caractéristiques mécaniques). Pour faciliter la lisibilité des données et permettre les comparaisons, les résultats ont été regroupés par grandeur mesurée et présentés dans un système d'unités homogène. Il est à noter que les grandeurs mesurées sont très variables d'une étude à l'autre et que l'état des échantillons testés présente également des variations importantes quant à son degré de saturation.

Par souci de rigueur et dans la mesure du possible, les résultats ont été regroupés en tenant compte du degré de saturation en eau au moment de l'essai, ce qui explique par exemple que les résistances mécaniques en compression soient classées différemment selon qu'elles ont été mesurées sur échantillons secs, humides (état naturel) ou saturés. Il arrive cependant que certains auteurs s'abstiennent de préciser les conditions dans lesquels ont été effectués les essais. En l'absence de précision quant au degré de saturation des échantillons, il a été supposé qu'ils ont été testés dans leur état d'humidité naturelle.

Pour chaque point de prélèvement a été précisé, dans les tableaux en annexe, la localisation du prélèvement (indice et niveau de la carrière où a eu lieu le prélèvement, et coordonnées du point de prélèvement), le nombre d'essais réalisés à partir du bloc prélevé, les valeurs minimale, moyenne et maximale obtenues pour la grandeur mesurée, ainsi que l'écart-type et le coefficient de variation de la série de mesures.

Certaines données sont malheureusement incomplètes, soit par défaut de précision de l'auteur, soit par impossibilité d'accéder au rapport d'étude dans son intégralité. C'est ainsi que dans certains cas (Rai, 1984), les valeurs minimales et maximales des séries de mesure ne sont pas communiquées. Dans d'autres cas (campagne d'essais réalisés en 1992 par le CEBTP et rapportés dans [Antoinet, 1998]), nous n'avons eu accès qu'aux valeurs minimales et maximales de la série de mesure. Dans ce dernier cas, il n'a pas été possible de prendre en compte la série dans le calcul de la moyenne des valeurs.

Les études de détail, en particulier celles qui ont porté sur l'Eglise Monolithe ([Denis et al., 1991] et [Antoinet et al., 1998]), mettent clairement en évidence les relations qui existent entre les caractéristiques physiques et mécaniques du calcaire et le faciès lithologique de ce dernier. Ainsi, les essais réalisés en 1991 montrent que le faciès F6 (qui correspond à un calcaire grainstone de type B), présente une porosité moyenne de 36 % et une résistance moyenne en compression simple à l'état saturé de 4,1 Mpa (variant entre 2,5 et 5,2 Mpa). En comparaison, le faciès F2, qui correspond à un calcaire grainstone-packstone, de type C (à matrice fine plus développée et avec peu de contacts intergranulaires), présente une porosité moyenne de 46 % et une résistance moyenne en compression simple à l'état saturé de 1,5 Mpa (variant entre 1,1 et 1,7 Mpa).

Dans la pratique cependant, la variabilité tant horizontale que verticale des faciès rencontrés est telle qu'il est impossible d'envisager de réaliser une carte de répartition des faciès dans l'ensemble de la zone d'étude. Un tel travail n'est possible qu'à l'occasion d'études de détail concernant des carrières de faible extension. Au delà d'une certaine surface, la variabilité spatiale des caractéristiques lithologiques (et par conséquent physico-mécaniques) du calcaire devient telle qu'il est préférable de le considérer comme un matériau hétérogène dont on évalue les paramètres physico-chimiques par une approche statistique au moyen d'un grand nombre d'essais.

Ainsi, l'étude menée sur une superficie de 5 000 m² de carrières réparties sur deux niveaux à la Porte Saint-Martin (Beaufrère, 1987) montre que le coefficient de variation des résistances mesurées au niveau supérieur (ou seul le faciès A a été identifié) est plus important que le coefficient de variation des résistances mesurées sur l'ensemble des deux niveaux (où ont été reconnus les faciès A, C, D et marginalement B et E). C'est pourquoi, il n'a pas été jugé utile de préciser, dans les tableaux de mesures joints en annexe, la nature des faciès lithologiques (qui de toute façon n'ont été déterminés qu'à de rares occasions).

4.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Les principaux résultats disponibles sont résumés dans le tableau 1, établi à partir des données brutes compilées en annexe 4.3.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques du calcaire de Saint-Emilion
Synthèse des données bibliographiques (voir détails en annexe 4.3)

Grandeur mesurée	Symbole	Unité	Nombre d'essais	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale	Coefficient de variation moyen (%)
Poids volumique sec	Gamma d	kN/m3	472	13,10	16,10	20,70	3,51
Poids volumique réel	Gamma h	kN/m3	> 96	15,00	19,81	27,10	4,87
Poids volumique à saturation	Gamma sat	kN/m3	325	18,60	20,07	21,60	1,39
Poids volumique des grains solides	Gamma s	kN/m3	194	26,10	26,48	27,70	1,59
Teneur en eau naturelle	Wh	%	95	8,80	14,92	23,90	19,05
Teneur en eau à saturation	Wsat	%	14	21,00	25,00	27,00	7,45
Degré de saturation	Sr	%	189	-	24,19	-	10,30
Porosité à l'eau	n	%	395	18,00	39,80	52,30	5,81
Vitesse de propagation des ondes longitudinales à l'état sec	Vl sec	m/s	362	1 590	2 150	2 870	4,10
Vitesse de propagation des ondes longitudinales à l'état naturel	Vl nat	m/s	70	1 300	1 989	3 110	12,73
Vitesse de propagation des ondes longitudinales à l'état saturé	Vl sat	m/s	335	1 940	2 413	3 060	4,44
Vitesse de propagation des ondes transversales à l'état naturel	Vt nat	m/s	56	680	1 086	1 700	15,59

Les grandeurs mesurées avec une fréquence significative par les différents auteurs concernent les poids volumiques du matériau, la teneur en eau et la porosité à l'eau, ainsi que les vitesses de propagation des ondes soniques. Pour chacune de ces grandeurs ont été indiqués le nombre d'essais réalisés, les valeurs minimales, moyennes et maximales obtenues (toutes séries confondues) et le coefficient de variation moyen (calculé comme étant la moyenne pondérée des coefficients de variation de chaque série de mesure) qui reflète la dispersion des résultats.

Les poids volumiques tant à sec qu'à saturation ont été déterminés pour un nombre important d'échantillons de calcaire de Saint-Emilion (respectivement 472 et 325 échantillons). Les valeurs moyennes obtenues peuvent donc être considérées comme représentatives d'autant que les coefficients de variation sont faibles (inférieurs à 5 %). Le poids volumique du calcaire saturé serait ainsi de 20 kN/m³ en moyenne (pour un poids volumique sec de 16 kN/m³). Quant au poids volumique des grains solides, il s'élève en moyenne à 26,5 kN/m³, avec une très faible variabilité, ce qui est à mettre en relation avec la teneur très élevée en CaCO₃ du calcaire de Saint-Emilion (94 à 98 %, mesuré au calcimètre Bernard).

La teneur en eau à saturation s'élève en moyenne à 25 %. Le degré de saturation à l'état naturel, mesuré sur un grand nombre d'échantillons (189) dans la carrière de la Porte Saint-Martin, donne une valeur moyenne de 25 % (comprise entre 20 et 35 %), ce qui correspondrait à des teneurs en eau très faibles, de l'ordre de 4 à 12 %. D'autres mesures, effectuées notamment dans l'Eglise Monolithe, donnent des teneurs en eau à l'état naturel plus élevées, comprises entre 9 et 24 % (avec une moyenne de 15 %).

De nombreuses mesures de porosité à l'eau, sur 395 échantillons, ont été réalisées et donnent une valeur moyenne de l'ordre de 40 %, ce qui est particulièrement élevé pour ce type de roche. La plage de variation s'étend entre 18 et 52 %, ce qui reflète assez bien la diversité des faciès lithologiques du Calcaire à astéries (les faciès les plus poreux étant ceux des types A et C). Des mesures de porosimétrie au mercure ont été réalisées par ailleurs sur neuf échantillons (Beaufrère, 1987) mais conduisent à des valeurs sensiblement inférieures du fait d'une sous-estimation des pores de grande taille. Ces analyses permettent du moins de mettre en évidence que le calcaire de Saint-Emilion se caractérise par une microporosité importante (50 à 60 % de la porosité totale correspond à des pores dont le rayon d'entrée est inférieur à 7,5 µm) et une grande surface spécifique (entre 1,5 et 2 m²/g).

Enfin, des mesures de vitesses de propagation des ondes soniques ont été réalisées. Ce type d'essais peut être fait sur éprouvettes en laboratoire (c'est le cas des résultats présentés ici) ou in situ (à l'angle des piliers) et caractérise essentiellement la compacité et le degré d'hétérogénéité du matériau (des valeurs faibles traduisent l'importance de la porosité ou la présence de micro-fissures). La plupart des mesures effectuées concernent la vitesse de propagation des ondes longitudinales (qui sont des ondes de compression dont la vibration est parallèle au sens de propagation), lesquelles sont les plus rapides à se propager. Quelques mesures (Antoinet et al., 1998) concernent la vitesse de propagation des ondes transversales (qui sont des ondes de cisaillement dont la vibration est perpendiculaire au sens de propagation).

Les valeurs mesurées pour la vitesse de propagation des ondes longitudinales sont comprises entre 1 600 et 2 900 m/s à l'état sec (avec une moyenne de 2 150 m/s) et entre 1 900 et 3 000 m/s à l'état saturé (avec une moyenne de 2 400 m/s). La dispersion des valeurs est relativement faible (coefficient de variation moyen de l'ordre de 4 %) sauf pour les mesures effectuées sur des échantillons de calcaire à l'état naturel, pour lesquels la dispersion reflète surtout les variations du degré de saturation. On retrouve la même dispersion pour les mesures de la vitesse de propagation des ondes transversales qui ont également été réalisées sur échantillons non saturés. Ces dernières mesures aboutissent à des valeurs comprises entre 700 et 1 700 m/s (avec une valeur moyenne autour de 1 100 m/s).

4.3. CARACTERISTIQUES MECANQUES

Les principaux résultats disponibles sont résumés dans le tableau 2, établi à partir des données brutes présentées en annexe 4.4. Pour chacune des grandeurs mesurées ont été indiqués le nombre d'essais réalisés, les valeurs minimales, moyennes et maximales obtenues (toutes séries confondues) et le coefficient de variation moyen qui reflète la dispersion des résultats.

Les mesures de résistance en compression simple ont été faites sur des échantillons dont les degrés de saturation diffèrent. De fait, les résistances moyennes en compression simple semblent être nettement influencées par la teneur en eau de l'échantillon. Ainsi, à l'état saturé, on obtient une résistance moyenne de 2,3 MPa (calculée sur la base de 158 essais, avec un coefficient de variation moyen de 16 %), alors que cette résistance moyenne s'élève à 3,8 MPa à l'état sec (avec une vingtaine d'essais seulement). Pour les essais effectués à la teneur en eau naturelle (sur 119 éprouvettes), on obtient une valeur moyenne intermédiaire de 3,4 MPa (avec un coefficient de variation moyen nettement supérieur puisqu'il atteint 40 %). **La fourchette des résistances mesurées est particulièrement large** puisque les contraintes à la rupture varient entre 0,8 et 10,1 Mpa, ce qui reflète **l'extrême hétérogénéité du matériau**.

Les études de détail (Beaufrère, 1987) ont clairement mis en évidence les relations entre la résistance en compression et le faciès lithologique du calcaire. La présence d'une phase de cimentation intergranulaire coïncide généralement avec des résistances mécaniques plus élevées. En revanche, la présence d'argile, même en très faible quantité (5 à 10 %), se traduit par une diminution sensible de la résistance mécanique. La corrélation entre la résistance en compression du matériau et la vitesse de propagation des ondes longitudinales (à l'état saturé) est généralement très forte (coefficient de corrélation de 85 %). Elle est également très importante entre la résistance en compression simple et la porosité du matériau (coefficient de corrélation de 72 %), sachant que **plus le calcaire est poreux, plus sa résistance est faible**.

L'influence du degré de saturation en eau sur le comportement mécanique du calcaire de Saint-Emilion a aussi été clairement mise en évidence. **Pour un faciès lithologique donné, la résistance en compression diminue sensiblement lorsque la teneur en eau du matériau augmente.**

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques du calcaire de Saint-Emilion
Synthèse des données bibliographiques (voir détails en annexe 4.4)

Grandeur mesurée	Symbole	Unité	Nombre d'essais	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale	Coefficient de variation moyen (%)
Résistance en compression simple à l'état sec	Rc sec	Mpa	> 18	2,30	3,83	11,70	23,81
Résistance en compression simple à l'état naturel	Rc nat	MPa	> 120	0,90	3,39	10,10	40,21
Résistance en compression simple à l'état saturé	Rc sat	MPa	> 160	0,80	2,29	5,20	16,18
Limite élastique en compression simple à l'état naturel	Re nat	MPa	48	-	2,80	-	18,39
Limite élastique en compression simple à l'état saturé	Re sat	MPa	130	-	1,31	-	26,13
Module d'Young à l'état sec	E sec	MPa	> 7	1 050	5 640	7 610	29,70
Module d'Young à l'état naturel	E nat	MPa	63	129	4 170	12 200	26,33
Module d'Young à l'état saturé	E sat	MPa	140	275	3 783	11 580	24,64
Module dynamique calculé	Ed	MPa	55	3 730	50 937	153 460	31,40
Coefficient de Poisson à l'état sec	Nu sec	-	5	0,17	0,20	0,23	13,69
Coefficient de Poisson à l'état naturel	Nu nat	-	5	0,17	0,22	0,22	27,80
Coefficient de Poisson à l'état saturé	Nu sat	-	2	0,19	0,22	0,24	16,44
Coefficient de Poisson dynamique calculé	Nu d	-	55	0,14	0,28	0,41	16,59
Résistance en traction par fendage à l'état sec	Rtb sec	MPa	> 12	0,10	0,74	2,04	18,94
Résistance en traction par fendage à l'état naturel	Rtb nat	MPa	45	0,06	0,46	0,90	44,71
Résistance en traction par flexion	Rtf	MPa	> 9	0,40	0,96	5,10	35,00
Cohésion (essai de cisaillement)	C	kPa	2	350	425	500	24,96
Angle de frottement interne (cisaillement)	Phi	°	2	55,0	60,0	65,5	12,32

Pour un faciès lithologique donné, le rapport entre la résistance à l'état sec et à l'état saturé varie entre 1,5 et 2,7. Lorsque le degré de saturation passe de 0 à 50 %, la résistance en compression du calcaire est divisée par 1,5 à 2. Ensuite, sa diminution est moins sensible, lorsque le degré de saturation augmente de 50 à 100 %.

Outre les valeurs brutes de résistance ultime à la rupture, les essais de compression simple donnent des indications sur le comportement rhéologique du matériau. Il apparaît ainsi que le mode de rupture par écrasement est largement prépondérant (surtout à l'état saturé), ce qui traduit le caractère très friable du calcaire de Saint-Emilion. L'examen des courbes effort-déformation axiale permet de déterminer la limite élastique du matériau et son module d'Young (qui caractérise la déformabilité axiale du matériau, dans le domaine élastique).

Les données disponibles indiquent que la limite élastique se situe en moyenne à 2,8 MPa pour le calcaire dans son état d'humidité naturelle (soit environ 80 % de la résistance ultime à la rupture) mais descend à 1,3 MPa lorsque le calcaire est saturé en eau, ce qui ne représente plus alors que 60 % de sa résistance ultime. Il apparaît donc que **la présence d'eau dans les pores du calcaire diminue sa résistance en compression mais augmente l'étendue de son domaine de déformation plastique.**

Le module de déformation axiale a été déterminé pour un grand nombre d'échantillons, ce qui permet d'établir des moyennes malgré des coefficients de variation très élevés (de l'ordre de 25 à 30 %). Il s'élève en moyenne à 5 600 MPa à l'état sec, à 4 200 MPa à l'état d'humidité naturelle et à 3 800 MPa à saturation. Il s'agit là de valeurs relativement faibles mais la plage de variation est énorme puisqu'elle s'étend de 130 à 12 200 MPa. Les valeurs particulièrement basses (130 à 200 MPa) ont été mesurées sur un bloc prélevé au nord-ouest de la zone d'étude (Lhoste, 1997) et correspondent à un faciès à forte porosité (51 %) et faible résistance en compression (1,7 MPa). Les valeurs les plus élevées (7 000 à 12 000 MPa) ont été enregistrées dans l'Eglise Monolithe et la carrière de la Porte Saint-Martin et correspondent à des faciès de type B (calcaire grainstone à cimentation intergranulaire bien développée). De manière générale, il existe une corrélation très nette entre les valeurs de résistance en compression et celles du module d'Young (coefficient de corrélation de l'ordre de 90 %), les calcaires les plus résistants étant aussi les moins déformables.

Certaines éprouvettes testées en compression ont été équipées de jauges de déformation pour mesurer le module de déformabilité transversale du calcaire de Saint-Emilion, toujours dans le domaine élastique. Ce module, communément appelé coefficient de Poisson, est en moyenne de 0,20 à l'état sec et légèrement supérieur (0,22) à l'état humide ou saturé. Ce paramètre présente une dispersion relativement importante avec des valeurs extrêmes comprises entre 0,17 et 0,29.

A partir des mesures des vitesses de propagation des ondes soniques, il est possible de déterminer des valeurs de modules dynamiques, tant axial que transversal. Ces calculs ont été effectués pour 55 échantillons prélevés dans l'Eglise Monolithe (Antoinet et al., 1998). Ils conduisent, pour la déformabilité axiale, à des valeurs très supérieures aux modules déterminés à partir des essais de compression simple, puisqu'on obtient une valeur moyenne de 51 000 MPa (soit dix fois supérieure à la moyenne des modules classiques), ce qui amène à considérer avec prudence ce type de données (d'autant que la dispersion des résultats est

particulièrement élevée). Pour la déformabilité transversale, calculée à partir des vitesses de propagation d'ondes soniques, les valeurs obtenues (moyenne de 2,8) sont plus proches des modules mesurés par essais mécaniques, mais restent supérieures à ces derniers.

Deux types d'essais de traction indirecte ont été réalisés sur le calcaire de Saint-Emilion. Les premiers, les plus nombreux car plus faciles à mettre en œuvre, sont des essais de fendage (essai Brésilien) et portent sur une soixantaine d'éprouvettes, la plupart testées à l'état d'humidité naturelle. Ils conduisent à une valeur moyenne à la rupture de 0,46 MPa (mais qui s'élève à 0,74 MPa pour les essais réalisés à l'état sec). Les coefficients de variation sont relativement élevés (45 % en moyenne pondérée) et la fourchette de valeurs est particulièrement large, entre 0,06 et 0,9 MPa, avec toutefois des valeurs maximales nettement plus élevées à l'état sec, allant jusqu'à 2 MPa (CEBTP, 1992). Le deuxième type d'essais correspond à des essais de résistance en flexion et porte sur une dizaine d'éprouvettes seulement. La moyenne des valeurs mesurées est de 0,96 MPa mais avec une forte dispersion des résultats (compris entre 0,4 et 5,1 MPa).

On peut noter au passage que **la résistance du calcaire en compression correspond en moyenne à cinq fois sa résistance en traction** (évaluée de manière indirecte par fendage), pour un matériau à l'état sec. A l'état naturel, ce rapport s'élève à 6,5 en moyenne mais varie en fait entre 5 et 11 selon les séries de mesures (en excluant les prélèvements pour lesquels on dispose de moins de trois mesures et qui ne peuvent donc être considérés comme significatifs).

Enfin, deux essais de cisaillement ont été réalisés sur des blocs prélevés dans l'Eglise Monolithe. Ils donnent une cohésion moyenne de 425 kPa et un angle de frottement interne de 60 °. Les éprouvettes utilisées pour ces deux essais ont été découpées l'une parallèlement et l'autre perpendiculairement à la stratification, mais elles conduisent toutes deux à une résistance à la compression (calculée à partir des résultats de l'essai de cisaillement) identique, à savoir 3,2 MPa. Ceci tend à indiquer que **le comportement mécanique du calcaire de Saint-Emilion n'est que faiblement anisotrope**.

Ceci est confirmé par différents essais réalisés sur des éprouvettes prélevées perpendiculairement à la stratification (cas le plus général car le plus représentatif de la réalité) ou parallèlement à celle-ci. Les essais les plus nombreux de ce point de vue sont ceux réalisés par le CEBTP en 1992, mais le détail de ces résultats n'a pas été accessible à l'occasion de la présente étude. Ils tendent cependant à indiquer que l'angle entre la stratification et la direction de la sollicitation principale (tant en compression qu'en flexion) influe assez peu sur les résistances moyennes à la rupture. Ceci est du moins valable lorsque cet angle est égal à 0 ou à 90°. Il est probable que la conclusion pourrait être légèrement différente pour des angles compris entre 15 et 60°, configuration pour laquelle les phénomènes de cisaillement selon les plans de discontinuité deviennent prépondérants.

Il est à noter cependant que des essais de compression réalisés sur des blocs prélevés perpendiculairement et parallèlement à la stratification dans la carrière des Catacombes (Antoinet et al., 1998) indiquent une résistance supérieure de 40 % pour les premières par rapport aux secondes (3,1 MPa au lieu de 2,2 MPa), ce qui est significatif même si cette

observation peut difficilement être généralisée du fait du petit nombre d'éprouvettes testées (5).

Au delà de ces essais réalisés en laboratoire sur éprouvettes carottées et sciées, une campagne de mesures in situ a été effectuée (Allard, 1975). Ces essais ont été conduits au moyen d'une presse portative permettant de réaliser des essais de traction indirecte (de type fendage) sur des échantillons de forme quelconque (plus ou moins ovoïde) et de dimension minimale 80 mm. Cet essai permet de déterminer un indice de résistance à la traction, généralement supérieur de 20 % par rapport à la résistance en traction par fendage mesurée en laboratoire. La dispersion des résultats est relativement importante mais la rapidité de mise en œuvre de l'essai permet de tester un très grand nombre d'échantillons (70 en moyenne) en chaque point de prélèvement. Les résultats de cette campagne de mesure conduisent à un indice moyen de résistance à la traction de 0,39 MPa pour le Calcaire à astéries de l'Entre-Deux-Mers, ce qui est comparable (mais inférieur) à la résistance moyenne mesurée en laboratoire (0,46 MPa).

Enfin, une analyse du comportement différé du Calcaire à astéries a été entreprise (Beaufrère, 1987) au moyen d'essais de fluage (enregistrement des déformations d'une éprouvette soumise à une charge axiale constante, inférieure à sa résistance à la rupture, et ceci pendant une durée variable) et d'essais de fatigue (analyse du comportement d'une éprouvette soumise à des sollicitations cycliques de faible amplitude et de courte période). Les éprouvettes utilisées pour ces différents essais ne proviennent pas de Saint-Emilion mais présentent néanmoins des caractéristiques mécaniques relativement proches.

Les essais de fluage long (durée de l'essai variant entre 3 et 16 mois) ont été effectués sur six éprouvettes maintenues à saturation et soumis à une contrainte de compression comprise entre 45 et 80 % de la résistance à la rupture (évaluée par des essais de chargement classiques sur des éprouvettes du même type). Après quelques jours de mise en charge, les déformations s'accélérent et l'éprouvette évolue inexorablement vers la ruine qui se produit donc pour des sollicitations très inférieures à la résistance mesurée classiquement (mais en présentant un taux de déformation nettement supérieur). Cette observation est importante car elle signifie que **le Calcaire à astéries, soumis à une charge permanente pendant une longue durée, présente une résistance à la rupture au moins deux fois plus faible que la résistance mesurée lors d'un essai de chargement classique (instantané).**

Les essais de fatigue ont été réalisés sur cinq éprouvettes seulement. Leur comportement semble influencé à la fois par le niveau de contrainte initial et par l'amplitude des sollicitations supplémentaires (0,1 à 0,2 MPa, soit l'ordre de grandeur des surcontraintes liées aux variations de saturation des terrains de recouvrement) appliquées de manière cyclique. Lorsque la valeur du chargement initial dépasse la limite élastique du matériau, l'évolution vers la ruine de l'éprouvette est inéluctable, mais **cette évolution est très sensiblement accélérée sous l'effet des surcontraintes, même de faible amplitude, appliquées de manière cyclique.**

5. Caractéristiques géométriques des carrières

5.1. DISTINCTION DES DIFFERENTS NIVEAUX DE CARRIERES

La base de données des carrières souterraines de Gironde distingue **quatre niveaux superposés de galeries** dans la commune de Saint-Emilion, numérotés de 1 (niveau supérieur) à 4 (niveau inférieur). La carte de la figure 11 montre l'état des informations contenues dans cette base de données (**avant réalisation de la présente étude**). Les zones dessinées en grisé sont a priori sous-cavées mais n'ont pas fait l'objet de levés topographiques qui permettraient d'en tracer les limites exactes et de préciser les différents niveaux de carrières. En revanche, lorsque des levés topographiques existent et ont été digitalisés, ils sont reportés avec une couleur différente selon le niveau auquel correspond la carrière. Dans la zone d'étude, le niveau 4 (dessiné en vert) n'est représenté que de manière marginale en bordure nord-est du secteur, dans une zone urbanisée.

La distinction entre les quatre principaux niveaux de carrières souterraines de Saint-Emilion se fait essentiellement en fonction de la cote moyenne du sol des galeries. Des coupures ont été définies, de manière quelque peu arbitraire, afin de rendre compte au mieux possible de la superposition des différents étages. Le niveau supérieur (1) correspond aux carrières dont le sol se situe en moyenne entre 73,50 et 80 m NGF. Le niveau 2 comprend les carrières dont le sol est à une cote comprise entre 69 et 73,50 m NGF. Pour le niveau 3, le sol des carrières se trouve entre 64 et 69 m NGF. Quant au niveau inférieur (4), le sol des galeries se situe entre 60 et 64 m NGF. Il va de soi qu'avec un tel mode de raisonnement les niveaux supérieurs (1 et 2, voire 3) ne peuvent exister dans certains endroits où la cote du terrain naturel est plus basse : c'est notamment le cas du secteur intra-muros où quasiment seul le niveau inférieur est représenté.

Dans la pratique, ces distinctions arbitraires exigent certaines adaptations. En effet, la cote altimétrique n'est pas connue pour la plupart des carrières de la zone qui, soit n'ont pas fait l'objet de levés topographiques, soit ont été levées dans un système local non rattaché au NGF. Par ailleurs, le sol des carrières les plus étendues est rarement horizontal et on passe insensiblement d'un niveau à un autre sans que ces zones de transition ne soient matérialisées par des descenderies ou des puits de communication. Dans ces conditions, l'attribution des différentes carrières à tel ou tel niveau présente une certaine part d'interprétation subjective, ce qui explique que la base de données des carrières souterraines, dans son état actuel, comporte quelques erreurs dans la zone d'étude.

Afin de conserver néanmoins le maximum de cohérence avec les choix qui ont présidé à l'élaboration de cette base de données, il a été décidé, pour la suite de l'étude, de garder approximativement les mêmes classes altimétriques pour la définition des quatre niveaux de carrières mais de les interpréter avec une certaine souplesse afin de rendre compte avec le plus de réalisme possible de la superposition des différents niveaux.

Le nivellement de nombreux accès et le rattachement de plans existants au système NGF, dans le cadre des deux campagnes de levés topographiques réalisées à l'occasion de la présente étude, ont permis de préciser notablement l'agencement des différents niveaux dans la zone d'étude et d'en donner une représentation plus complète, même si le découpage par niveaux garde un caractère interprétatif.

5.2. INVENTAIRE DES ACCES AUX CARRIERES

Un premier inventaire des principaux accès aux carrières de Saint-Emilion avait été réalisé par le Bureau des Carrières et a servi à alimenter la base de données des carrières souterraines, laquelle comporte une table des accès (Bichot et al., 1997). Dans cette base de données, la numérotation des accès se fait en tenant compte de l'indice de la carrière dans laquelle ils débouchent. La codification des carrières répertoriées (dénommées « ouvrages » dans la base de données) est du même type que pour la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM, à savoir : le numéro de la carte géologique et du huitième correspondant (0804-7X pour Saint-Emilion) suivi d'un numéro d'ordre à quatre chiffres (commençant arbitrairement par un 5 pour les carrières souterraines).

Lorsque l'ouvrage est un ensemble de carrières proches ou qu'il comporte plusieurs niveaux, ces derniers sont individualisés en entités dénommées « cavités ». Les accès sont numérotés par ouvrage (en précisant éventuellement à quelle cavité ils se rapportent) en précisant s'il s'agit d'entrées (notées E) ou de puits (puits d'extraction ou puits d'aérage).

Cet inventaire des accès aux carrières de Saint-Emilion a été complété par un inventaire relativement exhaustif réalisé en 1998 (et poursuivi en 1999), conjointement par la Commune et le Bureau des Carrières (Trébucq, 1998). Les nouveaux accès recensés à cette occasion ont été intégrés à la base des données. Par ailleurs, certains d'entre eux (80 environ dans la zone d'étude ou à proximité immédiate) ont fait l'objet de l'établissement d'une fiche descriptive avec photo, du type de celle qui est présentée en annexe 5.1. Enfin, cet inventaire a été complété à l'occasion de la présente étude où une quinzaine d'accès supplémentaires ont encore été identifiés.

Le tableau récapitulatif présenté en annexe 5.2 indique les principales caractéristiques de l'ensemble des accès qui ont été recensés à ce jour dans la zone d'étude, sachant que certains se trouvent légèrement en dehors des limites de cette zone mais donnent accès à des carrières qui s'étendent sous le secteur d'étude. Ces accès sont au nombre de 149, mais en réalité sont plus nombreux car certaines bouches de cavages très proches les unes des autres ont été répertoriées de manière globale par souci de simplification.

Dans le tableau présenté en annexe, la colonne « numéro d'inventaire » fait référence au recensement effectué en 1998 (Trébucq, 1998). Les colonnes « indice carrière » et « désignation » correspondent aux indices qui apparaissent dans la base de données. Pour les accès qui ne figurent pas encore dans la base de données, la désignation a été faite en suivant les numéros d'ordre, sauf lorsque l'ouvrage correspondant n'est pas encore référencé dans la base de données, auquel cas il a fallu lui attribuer un indice provisoire (de type « bidon »).

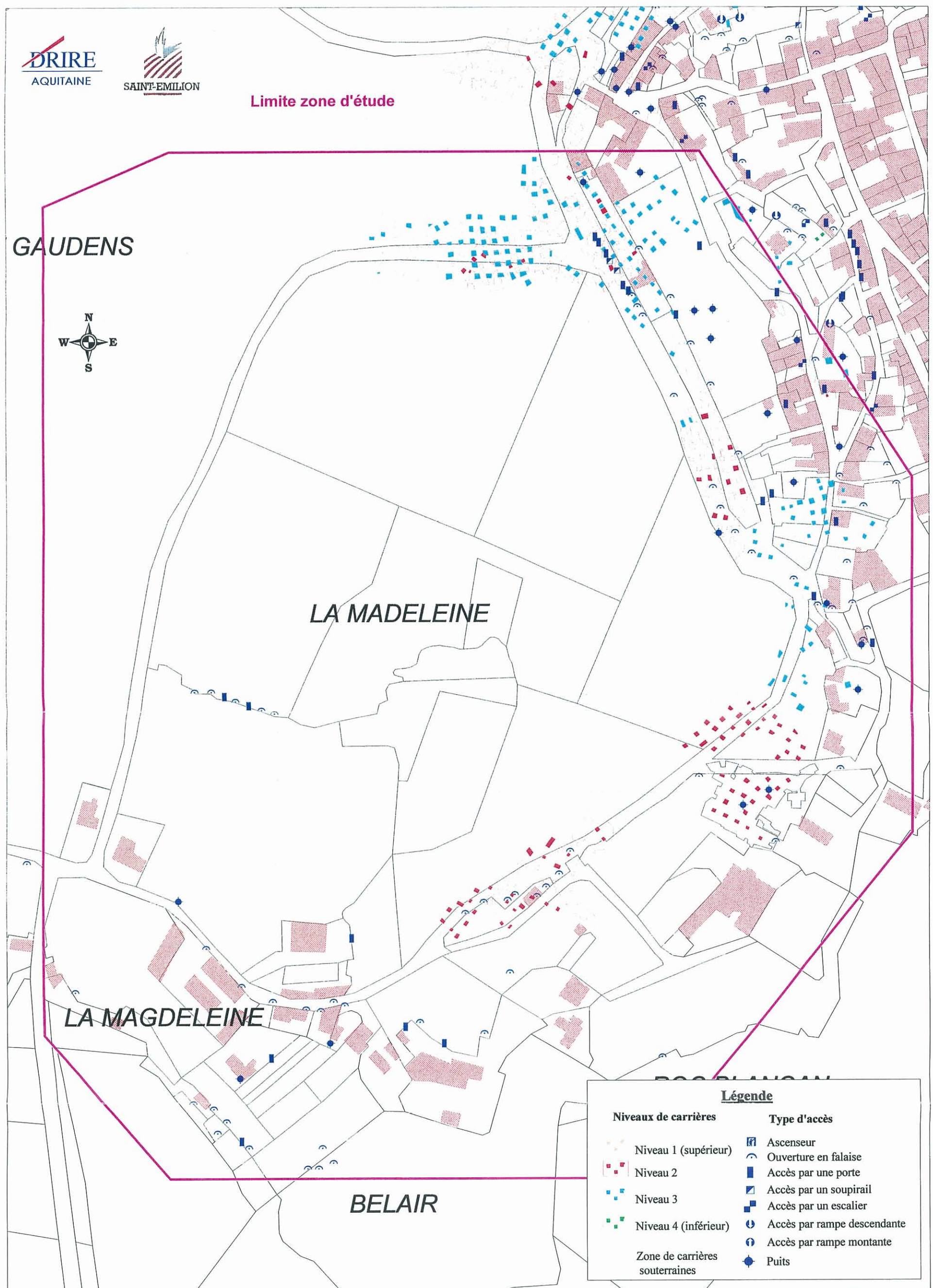


Figure 11 : Etat actuel de la base de données des carrières souterraines de Gironde dans la zone d'étude
Positionnement sur fond cadastral - Echelle 1 / 2 000

Enfin, la colonne « numéro sur plan » fait référence aux numéros des entrées (et des puits) qui ont fait l'objet d'un nivellement à l'occasion de la présente étude (ce sont les numéros qui apparaissent sur la carte en annexe 1.2).

Pour chacun des accès répertoriés sont indiquées les coordonnées Lambert (calculées après positionnement sur le cadastre ou après levé topographique pour certaines) et la cote altimétrique (NGF) lorsqu'elle est connue, ainsi que le niveau de carrière auquel l'entrée correspond. Parmi les accès (puits et entrées) recensés, 26 correspondent au niveau superficiel, 62 au niveau supérieur, 30 au niveau intermédiaire et 34 au niveau inférieur, sachant que trois puits (au moins) donnent accès simultanément à deux niveaux superposés.

Le type d'accès est mentionné à partir du lexique de la base de données. La moitié des accès (79) sont de type « ouverture en falaise ». Il s'agit de bouches de cavage ouvertes généralement à flanc de coteau ou en pied de falaise. Les deux autres types d'accès les plus représentés sont des portes (donnant souvent accès aux caves privées de faible extension) qui sont au nombre de 34 dans la zone, ainsi que des puits (27). Enfin, quelques entrées de carrières sont accessibles au moyen d'escaliers (5), d'une rampe (2) ou d'un soupirail (2).

Lorsque l'information est connue, le tableau récapitulatif indique les dimensions de l'ouverture : largeur (ou diamètre, dans le cas d'un puits) et hauteur (ou hauteur de la margelle pour un puits), ainsi que l'épaisseur du recouvrement au droit de l'entrée, et éventuellement la profondeur (toujours dans le cas d'un puits). La colonne « état » donne des indications sur l'accessibilité de l'entrée (qui peut avoir été bouchée de manière définitive ou être simplement munie d'une grille ou fermée avec une serrure ou un cadenas). Enfin la dernière colonne du tableau donne quelques indications sur la localisation et la description de l'accès.

5.3. CARACTERISTIQUES DU NIVEAU SUPERFICIEL

5.3.1. Limites d'extension

Par convention, ce niveau est constitué de galeries dont le sol se trouve à une cote supérieure ou égale à 73 m NGF. Il ne peut donc être présent a priori que sous le plateau calcaire situé à l'ouest de la rue des Douves, là où la cote du terrain naturel dépasse 80 m NGF. Dans la partie urbanisée de Saint-Emilion (secteur intra-muros), seules les zones périphériques (surtout au nord de la ville) sont à une altitude suffisante pour avoir permis le creusement de galeries à une telle cote.

De fait, même dans la zone d'étude, ce niveau est relativement peu étendu. Ses limites approximatives d'extension (tracées en prenant en compte l'ensemble des données actuellement disponibles) sont indiquées sur le plan de la figure 12 où sont également représentés les principaux effondrements de surface et les limites d'effondrement observées en carrière. Dix cavités ou groupes de cavités ont ainsi été individualisées et repérées sur le plan par des numéros allant de 1.1 à 1.10.

Tableau 3 : Niveau 1 (superficiel) de carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion
Principales caractéristiques géométriques des cavités visitées

N° de la cavité	Désignation (base de données)	Descriptif sommaire	Principaux accès	Hauteur moyenne de galeries (m)	Epaisseur moyenne de recouvrement (m)	Cote moyenne du sol de la cavité (m NGF)	Surface estimée (m2)	Etat général
1.1	08047X5010 NV1C1	Niveau supérieur ("mezzanine") bordé d'effondrements et accessible par un fontis ouvert dans une vigne de Château-Canon. S'étend sous le chemin de la Pège. Levé topo réalisé en 1997	Fontis (non inventorié)	1,50 à 2	4 à 4,50	77,50	392	Cavité bordée d'effondrements Un fontis au toit
1.2	08047X5010 NV1C2	Ensemble de 4 caves, en bordure de la rue des Douves, ayant été utilisées comme habitat troglodyte ou garage. 3 caves sont séparées par des murs de communication, la 4ième est indépendante. Levé topo réalisé en 1997	11 à 16	2,10 à 2,50	3 à 4	77,70	197	Effondrements anciens (derrière des murs)
1.3	08047X5010 NV1C2	Cave utilisée anciennement comme remise, en bordure de la rue des Douves, actuellement condamnée par suite d'effondrements. Levé topo réalisé en 1997	17 à 20	2,30	4,60	76,30	217	Cavité effondrée à l'ouest et au sud. Chutes de toit
1.4	08047X5020	Niveau supérieur localisé ("mezzanine") , sous les vignes du Couvent, au droit du puits 61 et derrière le puits 59, accessible par les entrées 34 et 36	34 et 61	2 à 2,50	5 à 6	73,20	115	Bon état
1.5	08047X5011	Niveau supérieur localisé ("mezzanine") , sous les vignes de Belair, en bordure de la zone effondrée en 1994	29	2 à 2,50	3 à 4	78,00	215	Bon état mais en bordure de l'effondrement
1.6	08047X5011	Niveau supérieur localisé ("mezzanine") , sous les vignes de Belair, en bordure de la zone effondrée en 1997	29 et 4	2 à 2,50	4 à 5	77,00	947	Bon état mais en bordure de l'effondrement
1.7	08047X5112	Niveau supérieur localisé ("mezzanine") , sous les vignes de Belair, sous la parcelle AO 74	132	2,20 à 2,50	3 à 4	80,00	815	Nombreux effondrements à proximité
1.8	08047X5099 et 08047X5100	Ensemble de 8 caves indépendantes (dont certaines ont été aménagées en habitat troglodyte), situées en bordure des vignes de Château Ausone, en contrebas de la route	93 et 96 à 102	1,50 à 2,50	2 à 3	77,90 à 78,80	267	Bon état
1.9	08047X5102	Ensemble de 3 caves utilisées comme chais par MM. Martin et Penchaud, à La Magdeleine, sous la route	105 à 109	2,50 à 3	1 à 2	75 à 76	204	Nombreuses fissures mécaniques au toit
1.10	08047X5101	Cave utilisée comme chai par le Château Magdelaine, sous la route VC n°10. A été confortée en 1995	103 et 104	2,80 à 3	1,10 à 2,50	73,30	219	Nombreuses fissures avant confortement

Seules quatre d'entre elles ont fait l'objet d'un levé topographique détaillé (les limites de ces levés sont indiquées sur le plan de la figure 12). Pour les autres, les limites d'extension supposées ont été tracées à partir des observations issues des visites de terrain et sont donc approximatives.

5.3.2. Principales caractéristiques géométriques

Les principales caractéristiques géométriques des cavités visitées sont résumées dans le tableau 3. Faute de mesures topographiques exhaustives pour l'ensemble de ces cavités, la plupart des valeurs indiquées dans ce tableau correspondent à des estimations, plus ou moins précises selon la nature des informations disponibles. En particulier, la surface des différentes cavités, qui a été calculée sur la base des contours tracés sur la figure 12, ne peut être considérée comme rigoureusement exacte que pour les carrières qui ont fait l'objet d'un levé topographique complet. En l'absence de telles données, les chiffres annoncés doivent donc plutôt être considérés comme des ordres de grandeur.

Ce tableau récapitulatif indique que les cotes moyennes du sol des cavités classées dans le niveau 1 sont effectivement toutes comprises entre 73,50 (ou 73,20 m pour les plus basses) et 80 m NGF. La hauteur des galeries est relativement faible, comprise entre 1,50 et 3 m. L'épaisseur de recouvrement est très variable mais ne dépasse pas 5 à 6 m, ce qui n'est pas surprenant dans la mesure où il s'agit du niveau de carrière le plus superficiel. Pour certaines cavités (situées de surcroît sous la voie communale n°10), cette épaisseur de recouvrement est particulièrement faible puisqu'elle descend jusqu'à 1 m.

La surface moyenne des cavités est particulièrement faible puisqu'elle est de l'ordre de 350 m² (et même beaucoup moins si l'on tient compte du fait que la plupart des cavités recensées ici correspond en réalité à des ensembles de plusieurs caves, plus ou moins indépendantes). Ces cavités sont soit des caves de taille réduite (ayant parfois été aménagées en habitat troglodyte) soit des séparations du niveau supérieur des carrières (sortes de « mezzanines »). C'est en particulier le cas des cavités qui se situent sous le chemin de la Pège et autour des zones effondrées en 1994 et 1997 dans le vignoble de Belair : la hauteur des galeries du niveau supérieur de carrières atteint 6 à 7 m par endroits, tandis que localement il subsiste une planche intermédiaire peu épaisse (40 cm à 1 m) qui individualise deux étages superposés. Dans ce cas, l'étage situé au dessus de la planche est rattaché au niveau 1 (dénommé pour cette raison « niveau superficiel »).

La superficie cumulée des cavités rattachées au niveau 1 dans la zone d'étude peut être estimée à 3 600 m². Les levés topographiques existants qui se rapportent à ce niveau couvrent une surface totale de 830 m² de carrières (soit 23 % de la surface totale estimée). Il est à noter que **la plupart des cavités visitées à ce niveau sont en mauvais état, très souvent situées à proximité immédiate d'une zone d'effondrement.**

5.4. CARACTERISTIQUES DU NIVEAU SUPERIEUR

5.4.1. Limites d'extension

Par convention, ce niveau est constitué de galeries dont le sol se trouve à une cote altimétrique moyenne comprise entre 69 et 73,50 m NGF. Ses limites approximatives d'extension (au moins pour ce qui concerne les parties encore visitables actuellement) sont indiquées sur le plan de la figure 13 où sont également représentés les principaux effondrements de surface et les limites d'effondrement observées en carrière.

Douze cavités ou groupes de cavités ont ainsi été individualisées et repérées sur le plan par des numéros allant de 2.1 à 2.12. Seules quatre d'entre elles ont fait l'objet de levés topographiques détaillés mais ces levés (dont les limites sont indiquées sur le plan de la figure 13) sont très partiels et concernent surtout une bande périphérique située le long de la voie communale n° 10. Pour les autres cavités, les limites d'extension supposées ont été tracées à partir des observations issues des visites de terrain et sont donc approximatives.

5.4.2. Principales caractéristiques géométriques

Les principales caractéristiques géométriques des cavités visitées sont résumées dans le tableau 4. Faute de mesures topographiques exhaustives pour l'ensemble de ces cavités, la plupart des valeurs indiquées dans ce tableau correspondent à des estimations, plus ou moins précises selon la nature des informations disponibles. En particulier, les surfaces des différentes cavités, qui ont été calculées sur la base des contours tracés sur la figure 13, ne peuvent être considérées que comme des ordres de grandeur.

Ce tableau récapitulatif indique que les cotes moyennes du sol des cavités classées dans le niveau 2 sont pour la plupart comprises entre 69 et 73,50 m NGF. Plusieurs atteignent cependant des cotes altimétriques légèrement supérieures, jusqu'à 74 voire 78 m. Ceci illustre la difficulté à établir une classification des carrières souterraines de Saint-Emilion par tranche altimétrique. Ainsi, la cavité 2.3, topographiquement la plus élevée du niveau 2 (car située au point culminant du plateau), se situe, selon ces critères nettement en dehors de la fourchette définissant ce niveau. Pourtant elle y est incontestablement rattachée dans la mesure où elle constitue le prolongement vers l'ouest de la cavité 2.2 (même si cette continuité n'existe plus depuis l'effondrement de 1986) et qu'elle se trouve intercalée entre un niveau superficiel de mezzanines (cavité 1.7) et deux niveaux inférieurs de galeries (cavités 3.3 et 4.1).

La hauteur des galeries du niveau 2 est très variable, comprise entre 1,70 et 6 m. L'épaisseur de recouvrement est relativement faible puisqu'elle ne dépasse pas 6 m dans la zone d'étude et qu'elle se situe généralement entre 2 et 4 m. Elle se réduit même localement à 1 m. Globalement, cette épaisseur de recouvrement est très comparable à celle du niveau superficiel. Elle atteint des valeurs plus élevées lorsque ce niveau est surmonté par une galerie superficielle (de type mezzanine) qui divise par deux la hauteur de défilage, mais dans ce cas il faut déduire du recouvrement les zones de vide créées par la galerie supérieure.

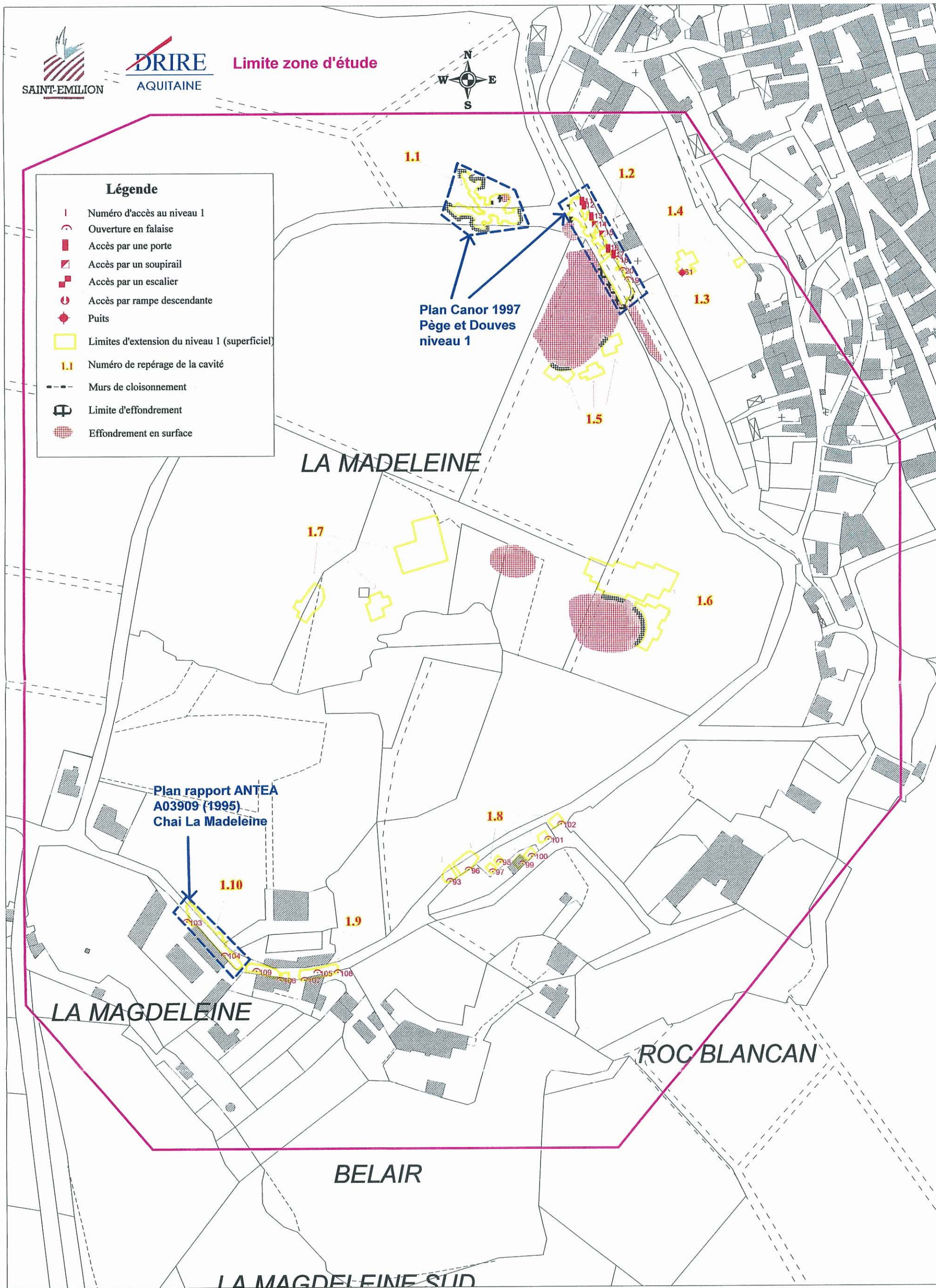
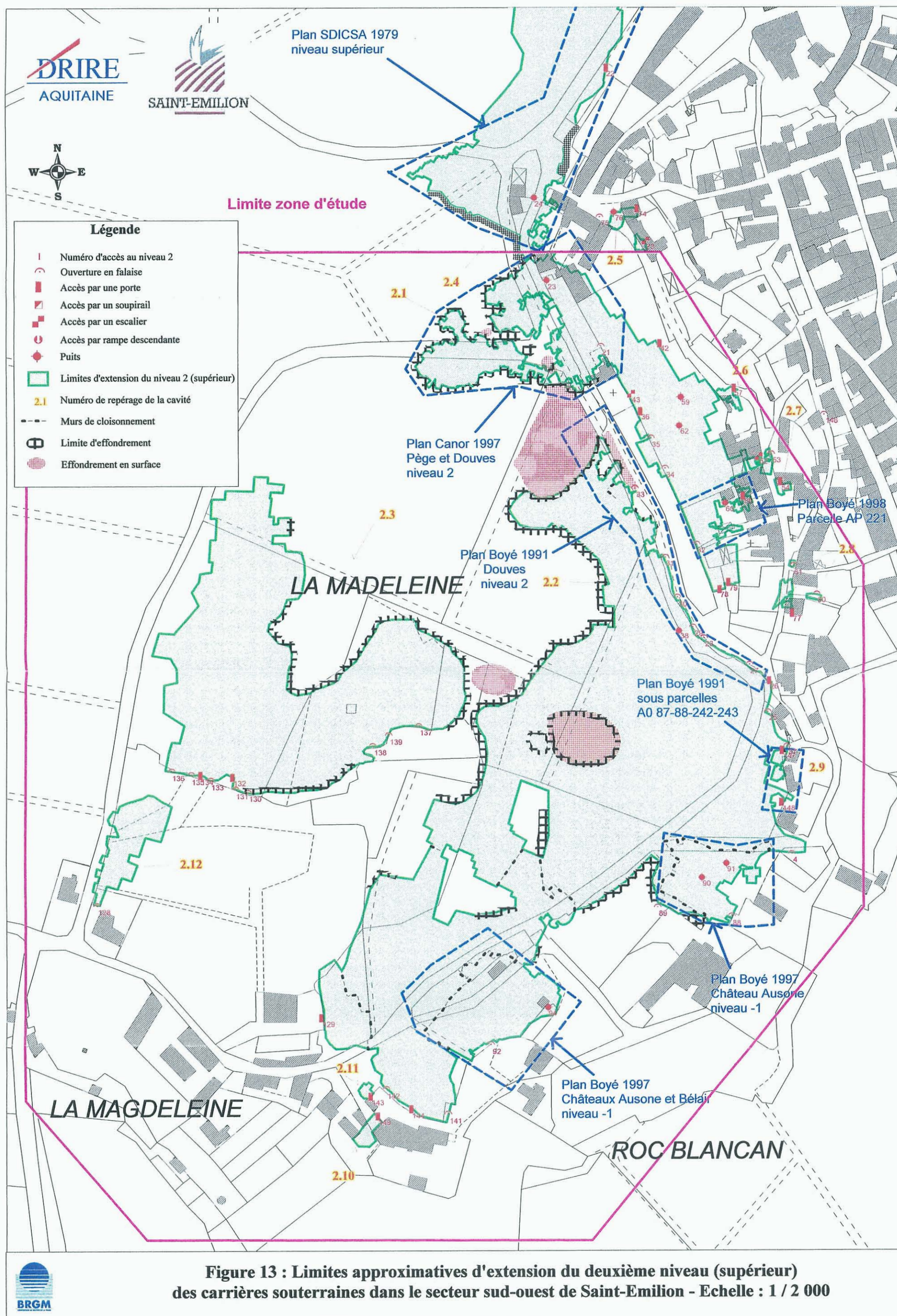


Figure 12 : Limites d'extension approximatives du premier niveau (superficiel)
de carrières souterraines dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion - Echelle : 1 / 2 000

Tableau 4 : Niveau 2 (supérieur) de carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion

N° de la cavité	Désignation (base de données)	Descriptif sommaire	Principaux accès	Hauteur moyenne de galeries (m)	Epaisseur moyenne de recouvrement (m)	Cote moyenne du sol de la cavité (m NGF)	Surface estimée (m2)	Etat général
2.1	08047X5010 NV2	Cavité s'étendant sous la rue des Douves, en partie sous le chemin de la Pège (effondrée à l'ouest) et surtout sous la vigne du Couvent. Levé topo partiel réalisé en 97 et 98	Fontis (non inventorié) + 32 et 34	2 à 2,50	2,50 à 6	71 à 75	8 934	Cavité bordée d'effondrements au nord-ouest
2.2	08047X5011 NV2	Vaste cavité s'étendant sous le vignoble Belair et sous le VC n° 10. Comprend aussi le chai de Château Ausone. Levés topo partiels réalisés en 1991 et 97	4 et 29	3 à 5	1 à 6	72 à 73,50	37 793	Affecté par plusieurs effondrements importants (1997, 94, 86 ...)
2.3	08047X5112 NV2	Vaste cavité autrefois reliée à la précédente mais désormais séparée par l'effondrement de 1986. Encore accessible par une série d'entrées situées au sud	132	1,70 à 5	2 à 6	75 à 78	14 835	Cavité bordée d'effondrements au nord-est et au sud
2.4	08047X5010 NV3	Grande carrière s'étendant essentiellement au nord de la zone d'étude, le long du parking des Douves. Levé topo partiel réalisé par le Bureau des Carrières en 1979	22	1,70 à 2,40	4 à 8	73,50	13 180	Cavité bordée d'effondrements au sud
2.5	08047X5028 et 08047X5029	Caves sous la rue du Couvent (en limite nord de la zone d'étude)	73 et 74	2,50 à 3	1 à 1,40	74,00	146	Etat moyen (non visitée)
2.6	08047X5020	Cave sous la rue du Couvent, adjacente à la cavité 2.1 (séparée par une grille)	57	2,80	2,20	72,00	80	Bon état
2.7	08047X5016, 08047X5017 et 08047X5018	Ensemble de 3 petites caves sous la rue du Couvent	52 à 54	2 à 3	1,00	73 à 74	138	Bon état (non visitée)
2.8	08047X5034, 08047X5035 et 08047X5036	Ensemble de 3 petites caves sous la rue de la Porte Sainte-Marie	77, 80 et 81	1,70 à 2	1,00	69 à 73	131	Bon état (non visitée)
2.9	08047X5011 NV2	Ensemble de 2 petites cavités utilisées comme garage et cave par MM. Deminière et Bortolussi	147 et 148	2,80	3 à 4	72,30 à 73	45	Bon état (non visitée)
2.10	Non inventoriée	Cave indépendante servant de cuvier à Château Belair	149	4,00	3,30	72,50	145	Fissures au toit (conforté)
2.11	08047X5114	Cave indépendante servant de remise à Château Belair	143	3,40	3,30	72,60	50	Fissures au toit
2.12	08047X5112	Cavité indépendante accessible par une descenderie, près d'une maison, en contrebas de la VC n° 18	128	1,70 à 1,80	4,00	72,50	1 175	Bon état



La surface moyenne des cavités est nettement plus importante qu'au niveau superficiel puisqu'elle est de l'ordre de 6 500 m². En fait, **les trois cavités principales** qui constituent le niveau 2 dans la zone d'étude (et qui forment, à elles trois, **une surface visitable de près de sept hectares**), **constituaient vraisemblablement une carrière unique avant que ne se produisent certains effondrements** qui rendent désormais impossible le passage de l'une à l'autre. Les autres cavités recensées à ce niveau sont, pour la plupart, des caves de dimensions très réduites (50 à 150 m²).

La superficie cumulée des cavités rattachées au niveau 2, tel que représenté sur la figure 13, peut être estimée à 76 600 m². En réalité, cette surface est plutôt de l'ordre de 63 300 m², si l'on s'en tient rigoureusement aux limites de la zone d'étude. Les levés topographiques existants qui se rapportent à ce niveau couvrent une surface totale de 12 300 m² de carrières (soit moins de 20 % de la surface totale estimée, toujours en se limitant à la zone d'étude stricto sensu). Il est à noter que **plusieurs des cavités** visitées à ce niveau (et en particulier les plus grandes d'entre elles) **sont en mauvais état, très souvent bordées de zones d'effondrement**.

5.5. CARACTERISTIQUES DU NIVEAU INTERMEDIAIRE

5.5.1. Limites d'extension

Par convention, ce niveau est constitué de galeries dont le sol se trouve à une cote altimétrique moyenne comprise entre 64 et 69 m NGF. Ses limites approximatives d'extension (au moins pour ce qui concerne les parties encore visitables actuellement) sont indiquées sur le plan de la figure 14 où sont également représentés les principaux effondrements de surface et les limites d'effondrement observées en carrière.

Huit cavités ou groupes de cavités ont ainsi été individualisées et repérées sur le plan par des numéros allant de 3.1 à 3.8. Des levés topographiques détaillés (dont les limites sont indiquées sur le plan de la figure 14) sont disponibles pour deux petites cavités et une partie de la cavité 3.4 (sous la rue des Douves et sous les propriétés Ausone et Belair). Pour les autres cavités, les limites d'extension supposées ont été tracées à partir des observations issues des visites de terrain et sont donc approximatives.

5.5.2. Principales caractéristiques géométriques

Les principales caractéristiques géométriques des cavités visitées sont résumées dans le tableau 5, sachant que certaines des valeurs indiquées correspondent à des estimations, plus ou moins précises selon la nature des informations disponibles. En particulier, les surfaces des différentes cavités, qui ont été calculées sur la base des contours tracés sur la figure 14, ne peuvent être considérées que comme des ordres de grandeur.

Ce tableau récapitulatif indique que les cotes moyennes du sol des cavités classées dans le niveau 3 sont pour la plupart effectivement comprises entre 64 et 69 m NGF, à l'exception de la cavité indiquée 3.3 qui se trouve à une cote nettement supérieure (surtout au nord) car située à l'ouest de la zone d'étude, dans une zone topographiquement élevée du plateau.

Tableau 5 : Niveau 3 (intermédiaire) de carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion
Principales caractéristiques géométriques des cavités visitées

N° de la cavité	Désignation (base de données)	Descriptif sommaire	Principaux accès	Hauteur moyenne de galeries (m)	Epaisseur moyenne de recouvrement (m)	Cote moyenne du sol de la cavité (m NGF)	Surface estimée (m2)	Etat général
3.1	08047X5022	Niveau supérieur de carrière sous la Tour du Roi. A fait l'objet d'une étude et d'un levé topo en 1998. Se situe en limite nord-est de la zone d'étude	64 et 65	1,75 à 2,45	7,00	68,70	186	Fissures au toit Confortement recommandé
3.2	08047X5019	Ensemble de 3 petites caves indépendantes, situées sous les rues du Couvent et de la Porte Sainte-Marie	55	3,20	2,30	64,00	124	Bon état mais présence de fissures
3.3	08047X5112	Vaste cavité s'étendant sous le chemin de la Pège, à l'ouest de la zone d'étude. Accessible uniquement par descendrière depuis le niveau supérieur	132 (niveau supérieur)	1,50 à 2,50	9,00	72 à 74	13 929	Bon état mais limite d'effondrement au sud
3.4	08047X5010 NV2	Vaste cavité s'étendant sous les Doves et de part et d'autre du chemin de la Madeleine. Autrefois exploitée en champignonnière. Levés topo partiels (faits en 1997) sous la rue des Doves et sous propriétés Ausone et Belair	145, 29 et 142 (niveau supérieur)	1,80 à 3	10 à 17,50 (15 à 16 en moyenne)	64 à 66,50	32 529	Bon état mais présence de 2 zones effondrées
3.5	08047X5095	Cave indépendante, située chez un particulier (M. Ardouin-Lapkin) à l'est de la rue du Couvent	82	2,50	1 à 2	68,00	91	Bon état
3.6	08047X5096	Cave indépendante située sous le jardin de M. Bortolussi, rue de la Madeleine. Levé topo réalisé en 1991	83 et 84	2,20	5,00	66,50	215	Bon état apparent
3.7	Non inventoriée	Cave indépendante située sous le jardin de M. Deminière. Découverte en 1998 suite à un affaissement de la chaussée, rue de la Madeleine	Non inventorié	1,20 à 1,80	1 à 2	70,00	88	Effondrée sous la chaussée
3.8	08047X5103	Ensemble de 3 cavités dont une principale, servant de remise et de chai au Clos de La Madeleine	110 à 124	1,80 à 3,40	2 à 4	65,50 à 67,50	9 431	Bon état apparent

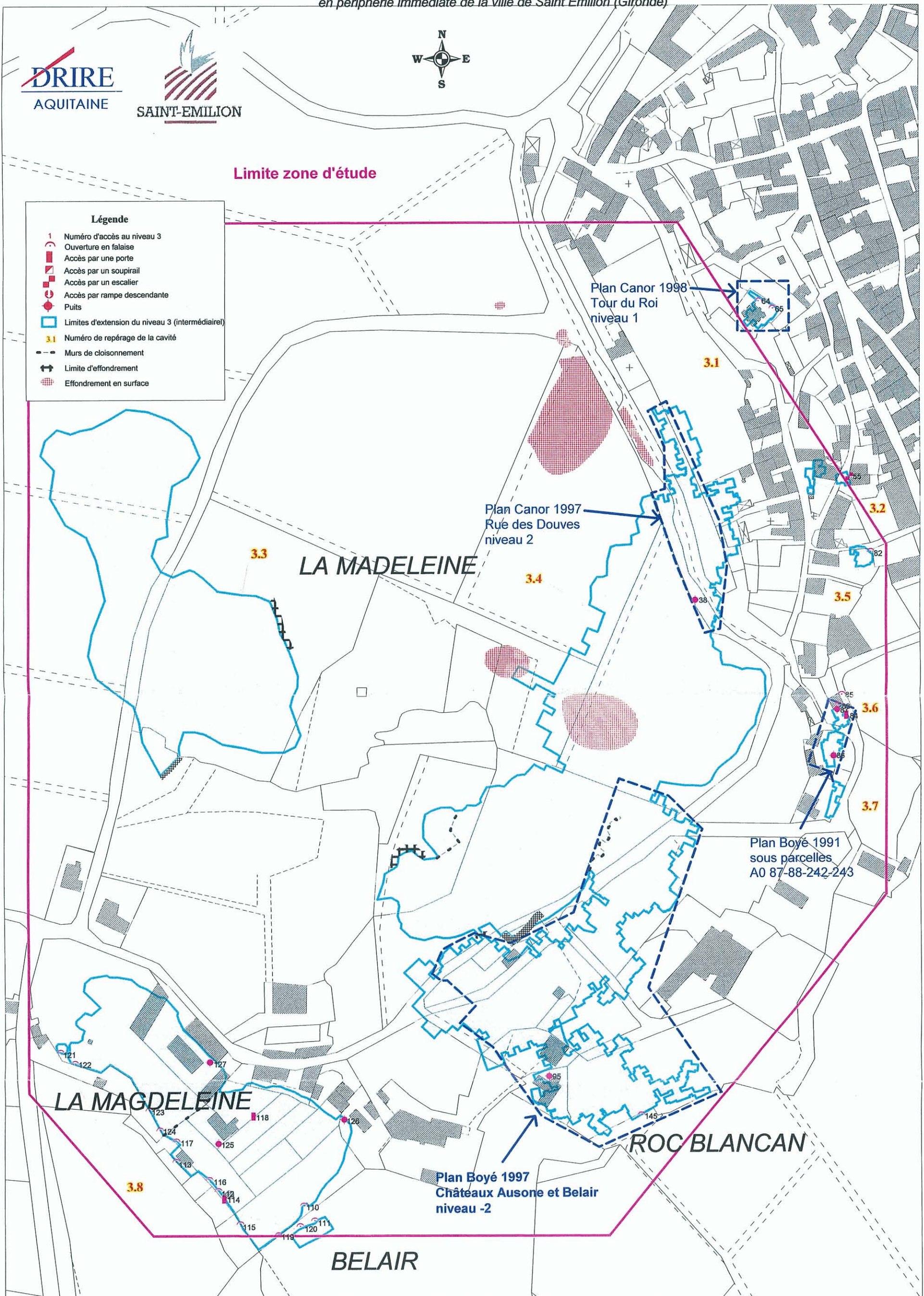


Figure 14 : Limites approximatives d'extension du troisième niveau (intermédiaire)
des carrières souterraines dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion - Echelle : 1 / 2 000

Cette cavité est cependant rattachée à ce niveau intermédiaire dans la mesure où elle surmonte un niveau inférieur et qu'elle s'étend sous des galeries du niveau supérieur.

Certaines grandes cavités comme la 3.2 qui s'étend sur plus de 3 hectares, présentent des dénivelés importants puisque le sol de la partie sud (à laquelle on accède de plain-pied par une bouche de cavage à flanc de coteau) est à la cote 64 m NGF, alors que la partie nord-est (accessible par descenderie depuis le niveau supérieur, en bordure des Douves) se situe à la cote moyenne de 66 à 66,50 m NGF.

La hauteur des galeries du niveau 3 est comprise entre 1,50 et 3 m, mais est généralement de l'ordre de 2,50 m. L'épaisseur de recouvrement est très variable selon la topographie de surface (elle-même déterminée par la situation géographique). Sur le plateau (cavités 3.3 et 3.4), elle atteint 9 à 17 m (desquels il convient de retrancher les zones de vides correspondant aux galeries des niveaux supérieurs). Dans la zone de rupture de pente, en limite du plateau, l'épaisseur de recouvrement varie entre 4 et 7 m. Dans les zones les plus basses, en limite Est de la zone d'étude, certaines caves de ce niveau intermédiaire présentent un recouvrement qui ne dépasse pas 1 à 2 m.

La surface moyenne des cavités est comparable à celle du niveau supérieur puisqu'elle est de l'ordre de 7 000 m², avec des différences importantes entre les grandes carrières qui s'étendent sous le plateau et les petites caves situées en bordure de la zone urbanisée.

La superficie cumulée des cavités rattachées au niveau 3 dans les limites de la zone d'étude peut être estimée à 56 300 m². Les levés topographiques existants qui se rapportent à ce niveau couvrent une surface totale de 12 460 m² de carrières, soit 22 % de la surface totale estimée. Il est à noter que **les cavités du niveau intermédiaire sont en relativement bon état, malgré la présence de zones d'effondrement localisées.**

5.6. CARACTERISTIQUES DU NIVEAU INFÉRIEUR

5.6.1. Limites d'extension

Par convention, ce niveau est constitué de galeries dont le sol se trouve à une cote altimétrique moyenne comprise entre 60 et 64 m NGF. Ses limites approximatives d'extension (au moins pour ce qui concerne les parties encore visitables actuellement) sont indiquées sur le plan de la figure 15 où sont également représentés les principaux effondrements de surface et les limites d'effondrement observées en carrière.

Six cavités ou groupes de cavités ont ainsi été individualisés et repérés sur le plan par des numéros allant de 4.1 à 4.6. Des levés topographiques détaillés (dont les limites sont indiquées sur le plan de la figure 15) sont disponibles pour trois cavités mais ne couvrent qu'une partie de leur superficie. En dehors des zones couvertes par ces levés existants, les limites d'extension supposées ont été tracées à partir des observations issues des visites de terrain et sont donc approximatives.

Tableau 6 : Niveau 4 (inférieur) de carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion
Principales caractéristiques géométriques des cavités visitées

N° de la cavité	Désignation (base de données)	Descriptif sommaire	Principaux accès	Hauteur moyenne de galeries (m)	Epaisseur moyenne de recouvrement (m)	Cote moyenne du sol de la cavité (m NGF)	Surface estimée (m2)	Etat général
4.1	08047X5010 NV3	Vaste cavité s'étendant au nord-ouest de la zone, sous la route du Milieu et le chemin de la Pège et sous les Douves, jusqu'à la Tour du Roi. A été utilisé autrefois comme champignonnière. Levés topo partiels réalisés en 1979 (partie nord, hors zone), 97 (	22 (niveau supérieur), 39, 40 et 45	1,80 (entre 1,30 et 2,20)	12 à 15 (entre 10 et 18)	64 à 67	82 881	Zones très instables sous le chemin de la Pège, effondrements plus au sud
4.2	08047X5023, 08047X5024 et 08047X5025	Ensemble de 3 cave indépendantes situées sous la Tour du Roi, en dehors de la zone d'étude (extrémité nord-est). Etude et levé topo de 2 caves, réalisés en 1998	67 à 72	2,50 à 2,90	1 à 3	62,50 à 63	200	Nombreuses fissures au toit de la cave centrale
4.3	08047X5014	Carrière s'étendant entre les rues du Couvent et de la Porte Sainte-Marie, en limite nord-est de la zone d'étude	49 et 50	2,20	4,00	67,00	612	Stabilité moyenne (non visitée)
4.4	08047X5020	Carrière située à l'est de la zone d'étude, s'étendant sous les habitations et sous les rue du Couvent et de la Porte Sainte-Marie. Visitée en 1998 par le Bureau des Carrières	8 (puits)	1,40 à 1,80	5 à 9	64,50	2 052	Bon état mais présence d'une fissure mécanique importante au toit
4.5	08047X5007 NV3	Vaste cavité située à l'est de la zone d'étude, sous les rues des Douves et de la Porte Sainte-Marie. Occupée par le Musée de la Poterie (partie recevant du public), la cave Querre et la cave de l'Union des Producteurs. Plans topo partiels levés en 1988,	1, 2, 5 et 7	2,50 à 4,20	5,30 à 13,60	60,20 à 64,30	7 131	Bon état général mais présence de zones instables, avec piliers fissurés
4.6	08047X5112	Vaste cavité accessible par un aplomb situé en contrebas de la voie communale n° 10, exploré partiellement par le Bureau des Carrières en 1997 (limite nord non reconnue)	140 (puits)	1,50 à 2	7 à 8	67,00	16 105	Bon état apparent (non visitée)

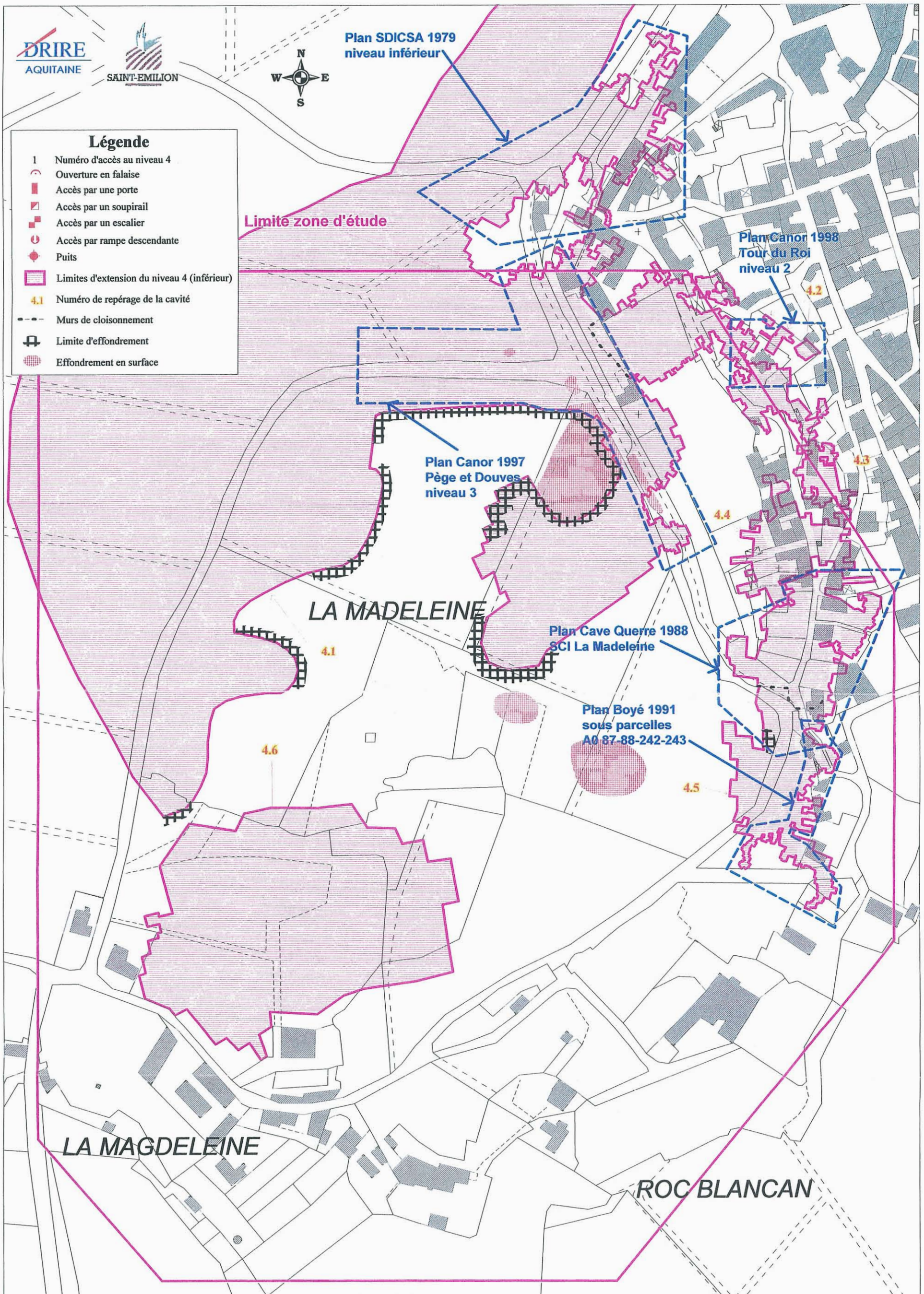


Figure 15 : Limites approximatives d'extension du quatrième niveau (inférieur) des carrières souterraines dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion - Echelle : 1 / 2 000

5.6.2. Principales caractéristiques géométriques

Les principales caractéristiques géométriques des cavités visitées sont résumées dans le tableau 6, sachant que certaines des valeurs indiquées correspondent à des estimations, plus ou moins précises selon la nature des informations disponibles. En particulier, les surfaces des différentes cavités, qui ont été calculées sur la base des contours tracés sur la figure 15, ne peuvent être considérées que comme des ordres de grandeur.

Ce tableau récapitulatif indique que les cotes moyennes du sol des cavités classées dans le niveau 4 sont pour la plupart effectivement comprises entre 60 et 64 m NGF, mais certaines galeries remontent localement très au dessus, jusqu'à 67 m NGF. Elles ont cependant été classées à ce niveau dans la mesure où elles s'étendent sous des galeries qui ont été rattachées au niveau intermédiaire.

La hauteur des galeries du niveau 4 est généralement de l'ordre de 1,70 à 2 m, mais peut atteindre localement 3 voire 4 m. L'épaisseur de recouvrement est très variable selon la topographie de surface. Sous le plateau, elle atteint 8 à 16 m (desquels il convient de retrancher les zones de vides correspondant aux galeries des niveaux supérieurs, lorsqu'elles existent). La hauteur maximale observée est de 18,30 m, au droit du chemin de la Pège, peu avant le virage vers le sud. A cet endroit, il est probable qu'il existe des niveaux de carrière au-dessus, mais ils ne sont plus visitables, par suite d'effondrements s'étant produits plus à l'est. Dans les secteurs urbanisés situés au pied du plateau, en limite est de la zone d'étude, l'épaisseur de recouvrement varie entre 4 et 8 m. Près de la Tour du Roi, elle est même de l'ordre de 3 m, voire moins au droit des entrées.

La surface moyenne des cavités est particulièrement importante puisqu'elle est de l'ordre de 1,8 hectares, avec des différences importantes entre les grandes carrières qui s'étendent sous le plateau (la plus grande cavité occupant plus de 8 hectares visitables) et les petites caves de quelques dizaines de mètres carrés situées en bordure de la zone urbanisée. La superficie cumulée des cavités rattachées au niveau 4, tel que représenté sur la figure 15, peut être estimée à 109 000 m². En réalité, cette superficie est plutôt de l'ordre de 86 600 m² si l'on se limite à la zone d'étude stricto sensu. Les levés topographiques existants qui se rapportent à ce niveau (toujours en se limitant strictement à la zone d'étude) couvrent une surface totale de 14 570 m² de carrières, soit 17 % environ de la surface totale estimée.

Il est à noter que **les cavités visitables du niveau inférieur sont en relativement bon état**, malgré la présence de **zones instables localisées** présentant de multiples fissures mécaniques, et malgré **une série d'effondrements** qui bordent la plus grande des cavités (4.1) au sud du chemin de la Pège, sous le vignoble de Château Belair.

5.7. EXTENSION DES ZONES SOUS-CAVEES

L'extension supposée des parties sous-cavées visitables, dans les limites strictes de la zone d'étude a été visualisée sur la carte de la figure 16 qui a été réalisée en superposant les cartes tracées pour chacun des quatre niveaux identifiés.

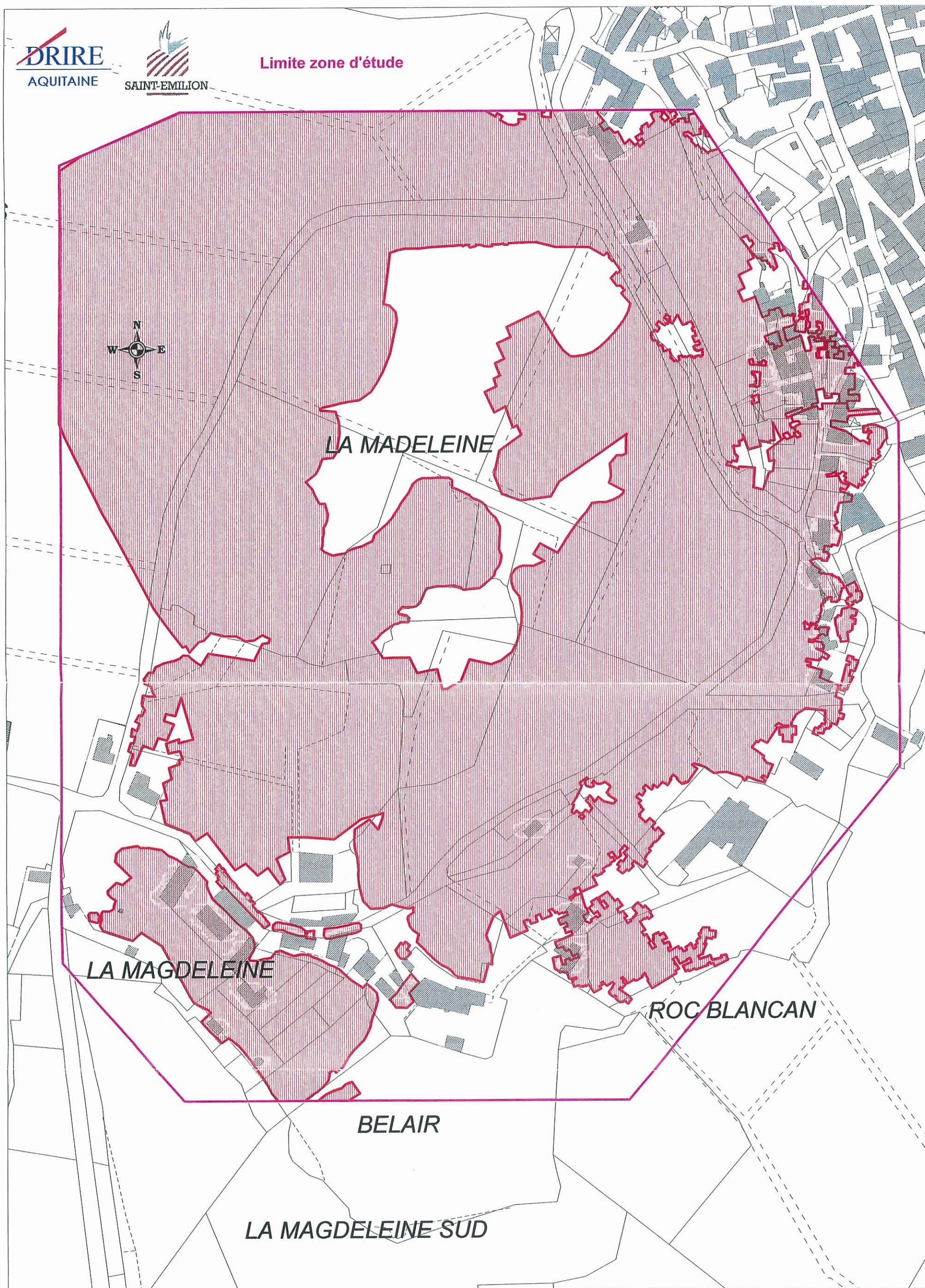
Faute de levés topographiques détaillés pour la totalité des carrières souterraines identifiées, les contours tracés sont nécessairement approximatifs (surtout à l'ouest de la zone d'étude). Ils donnent néanmoins une bonne idée de la zone d'extension des parties sous-cavées. Au vu de cette représentation, **la totalité des superficies sous-cavées s'élèverait à 15,3 ha, ce qui représente les deux tiers de la superficie totale de la zone d'étude**. Il est à noter que si l'on additionne la superficie estimée des quatre niveaux de carrières identifiés dans la zone d'étude, on aboutit à une **surface totale de galeries visitables de 21 ha**, ce qui montre l'importance des phénomènes de superposition de niveaux dans le secteur.

La répartition spatiale des parties sous-cavées montre que **la quasi totalité du plateau a été exploitée dans la zone d'étude**, seules les bordures sud et est ayant été épargnées. En particulier, **les voies communales n° 10 (chemins de la Madeleine et de la Porte Saint-Martin) et 18 (chemin de la Pège) sont très largement sous-cavées** dans toute la zone étudiée, ainsi que la rue du Couvent, la partie sud de la rue de la Porte Sainte-Marie et l'extrémité sud-ouest de la rue de la Madeleine. Le vignoble situé de part et d'autre du chemin de la Pège et entre celui-ci et la VC n° 10, est quasi entièrement situé au dessus de carrières souterraines, à l'exception d'une large partie centrale qui n'est plus visitable actuellement car entourée de limites d'effondrement mais qui a très probablement aussi fait l'objet d'exploitations souterraines, au moins au niveau supérieur.

La connaissance de la géométrie des anciennes exploitations souterraines dans la zone d'étude est encore très imparfaite. En effet, **la superficie cumulée des carrières ayant fait l'objet d'un levé topographique détaillé à ce jour atteint au total à peine 4 ha**, si l'on reste dans les limites strictes de la zone d'étude. Ceci **représente moins de 20 % de la surface totale cumulée** des différents niveaux de carrière dans la même zone (la proportion des surfaces levées par rapport à la superficie totale visitable est d'ailleurs relativement homogène puisqu'elle est comprise entre 17 et 23 %, d'un niveau à l'autre).

La surface des parties de carrières qui ne sont plus visitables par suite d'effondrement peut être estimée, de manière très grossière, à au moins 3 ha dans la zone d'étude (dont probablement plus des deux-tiers à rattacher au niveau supérieur), ce qui porterait la superficie totale de carrières souterraines exploitées dans les limites de la zone d'étude à environ 24 ha (tous niveaux confondus). En supposant que le taux de défrètement (rapport entre la surface des vides et la surface totale de la carrière) est en moyenne de 85 %, ceci représente une surface totale de vide d'environ 20 ha, ce qui correspond grossièrement à plus de 40 km de galeries en supposant que leur largeur moyenne est de 3,50 m. Un tel calcul ne peut être bien entendu que très approximatif mais donne une idée des surfaces concernées.

En adoptant une valeur moyenne de 3 m pour la hauteur de dépilage des galeries, ceci correspondrait à un volume total de vide de l'ordre de 600 000 m³, soit environ 400 000 m³ de blocs extraits (en supposant que les déchets d'exploitation représentent sensiblement un tiers du volume extrait), ce qui signifierait environ 800 000 t de pierre commercialisable. Cette estimation, bien qu'approximative, témoigne de l'ampleur de cette activité extractive dans l'économie de Saint-Emilion jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle.



**Figure 16 : Délimitation approximative des parties sous-cavées visitables
(tous niveaux confondus) dans la zone d'étude, au sud-ouest de Saint-Emilion - Echelle 1 / 2 000**

5.8. COUPES VERTICALES

5.8.1. Coupe est-ouest dans l'axe de la Pège

Afin de mieux visualiser la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines, trois coupes en travers ont été tracées dans la zone d'étude. L'emplacement de ces coupes est indiqué sur la carte de la figure 17.

La coupe A-A', d'orientation est-ouest, est centrée sur le chemin de la Pège (VC n° 18), entre les Douves et le virage vers le sud-ouest du chemin de la Pège. La partie de la coupe située sous le chemin de la Pège entre les deux virages avait déjà été tracée à l'occasion des levés topographiques réalisés en 1997. Cette coupe a été prolongée vers l'ouest, sous le vignoble de Château-Canon, jusqu'à la limite de la zone d'étude, et vers l'est jusqu'à la Tour du Roi, soit sur une longueur totale d'environ 400 m.

La coupe verticale présentée sur la figure 18 est schématique dans la mesure où il manque certains levés topographiques de détail pour permettre une représentation rigoureuse de toutes les cavités. En particulier, la cote exacte du sol des galeries est rarement connue puisqu'on mesure généralement la cote du sommet des déchets d'exploitation disposés au sol (localement appelés « jable »). Cette cote a donc été extrapolée en plusieurs endroits, sauf pour certaines cavités dont le sol a été nettoyé ou dont on connaît la cote du mur (galerie supérieure sous le chemin de la Pège, pour laquelle une série de sondages destructifs avaient été réalisés en 1994). Les piliers de séparation entre chambres adjacentes n'ont pas été représentés sur cette coupe pour en simplifier la lecture.

Cette coupe donne néanmoins un bon aperçu de la disposition verticale des quatre niveaux d'exploitation. Elle montre notamment que le niveau inférieur est quasiment continu sur toute la longueur du profil, avec une seule interruption à l'aplomb de la Tour du Roi. La hauteur exacte de défilage n'est pas connue pour ce niveau mais on peut estimer à au minimum un mètre l'épaisseur moyenne des déchets d'exploitation accumulés au sol. La coupe met bien en évidence les différences quant à l'épaisseur de recouvrement : celle-ci dépasse 18 m au virage du chemin de la Pège (point culminant de la topographie de surface) alors qu'elle atteint tout juste 3 m au pied de la Tour du Roi.

Le niveau intermédiaire est quasiment absent de ce profil, à l'exception d'une petite cavité située sous la Tour du Roi. La planche séparant ce niveau de celui sous-jacent ne dépasse pas 2 à 3 m d'épaisseur à cet endroit.

Le niveau supérieur s'arrête à l'est à l'aplomb de la rue du Couvent. A l'ouest, les galeries visitables s'arrêtent entre les sondages 9 et 10, suite à un effondrement. Il est vraisemblable qu'elles se prolongent plus à l'ouest, mais ne sont plus accessibles, sauf à entreprendre une campagne d'investigation spécifique. Un autre effondrement, situé au niveau de la jonction entre VC n° 10 et n° 18, interrompt la continuité de ce niveau supérieur le long du profil. Le profil montre par ailleurs que l'épaisseur de recouvrement au-dessus de ce niveau atteint 5 m sous les vignes du Couvent, mais dépasse à peine 2 m sous la rue des Douves.

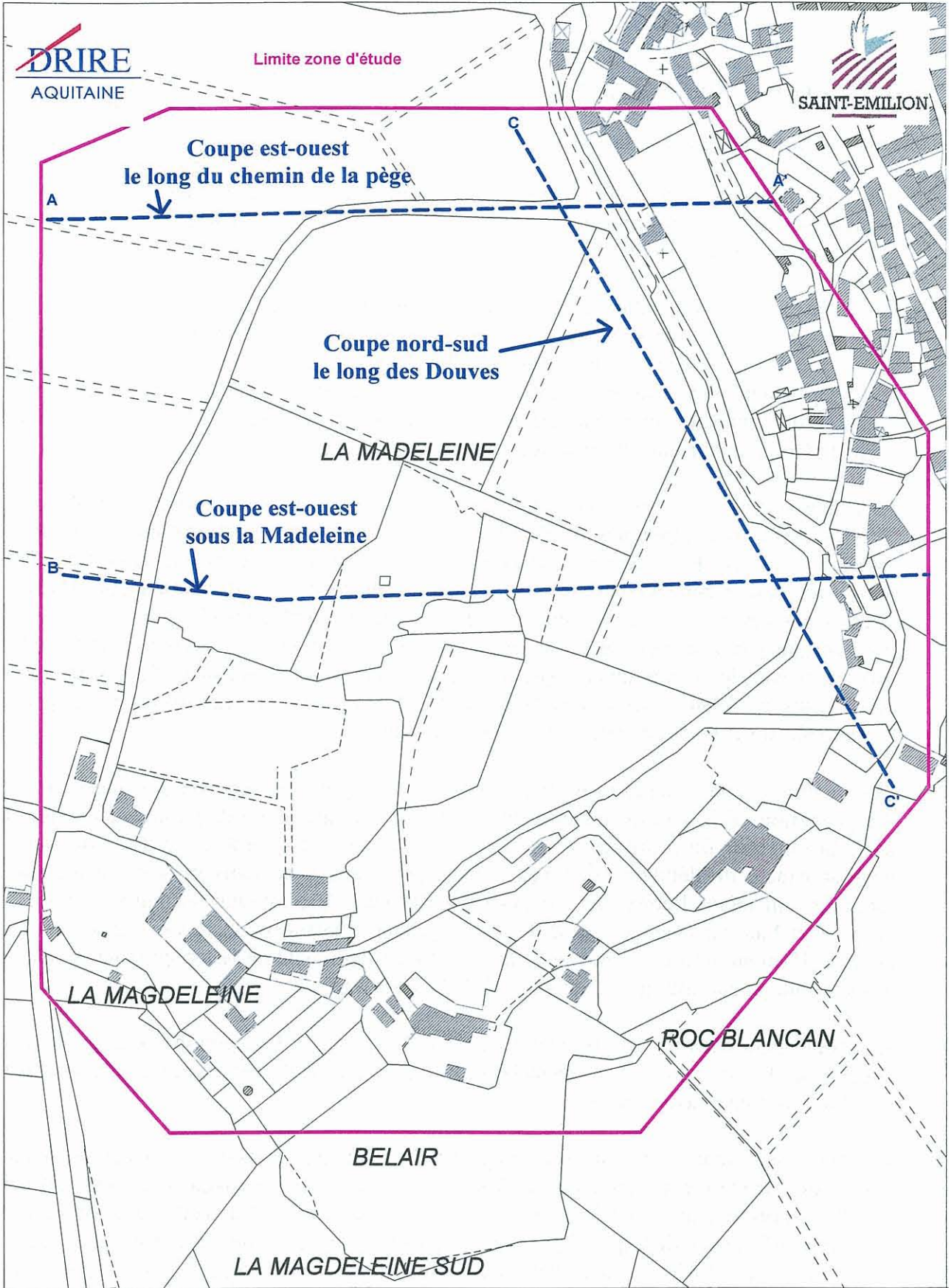


Figure 17 : Emplacement des coupes en travers montrant la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines. Positionnement sur fond cadastral

Echelle 1 / 3 000

Quant au niveau superficiel, il est présent à la fois sous forme de petite cavité ouverte à flanc de coteau le long des Doutes (cavité limitée vers l'ouest par des effondrements) et sous forme de mezzanines discontinues au dessus du niveau précédent (avec, dans ce cas, une planche intermédiaire de l'ordre de 50 cm d'épaisseur, hors déchets d'exploitation). L'épaisseur de recouvrement au-dessus de ce niveau est comprise entre 3 et 4 m le long du profil.

5.8.2. Coupe est-ouest sous la Madeleine

La coupe B-B', d'orientation est-ouest, traverse le plateau de Belair sur une longueur totale d'environ 400 m et débouche au sud du bourg, au virage de la rue de la Madeleine.

La coupe verticale présentée sur la figure 19 est encore plus schématique que la précédente dans la mesure où le secteur est quasiment dépourvu de levés topographiques de détail pour permettre une représentation rigoureuse de toutes les cavités. Elle a été tracée en extrapolant à partir des cheminements topographiques existants. Cette coupe donne néanmoins un bon aperçu de la disposition verticale des quatre niveaux d'exploitation. Elle montre notamment que la distinction entre les niveaux inférieur et intermédiaire n'est pas évidente puisque localement la cavité 3.4 paraît plus basse que la cavité 4.1.

Le niveau inférieur est dessiné uniquement aux deux extrémités du profil, mais il n'est pas exclu que la cavité 4.6 (qui n'a pu être visitée et encore moins levée) se prolonge au nord jusqu'au droit de la coupe. Les cavités 4.1 (à l'ouest) et 4.5 (cave Querre, à l'est), toutes deux rattachées au niveau inférieur, montrent des hauteurs de défilage et des épaisseurs de recouvrement très différentes, ce qui illustre la difficulté d'établir un diagnostic de stabilité global par niveau.

Le niveau intermédiaire est représenté ici par deux cavités distinctes, situées à des niveaux topographiques localement assez différents. La planche séparant la cavité 3.3 de la cavité 4.1 sous-jacente ne dépasse pas 3,50 à 4 m d'épaisseur à l'ouest du profil. La hauteur de défilage des galeries du niveau intermédiaire est relativement homogène, de l'ordre de 2,50 à 3 m.

Le niveau supérieur est présent quasiment sur toute la longueur du profil. A l'ouest, la coupe traverse la descendrie qui relie la cavité 2.3 à la cavité 3.3 située plus bas, avec une planche intermédiaire dont l'épaisseur se réduit localement jusqu'à 1,50 m.

La coupe traverse les effondrements de 1986 (remblayé) et de 1997, lesquels n'affectent que le niveau supérieur. Au droit de ces effondrements, la hauteur des galeries atteint 5 à 6 m et la carrière est localement divisée en deux, avec une galerie supérieure formant mezzanine, rattachée au niveau superficiel. Aux deux extrémités du profil, la hauteur des galeries est nettement inférieure (entre 2 et 3 m), mais l'épaisseur de recouvrement reste sensiblement identique (entre 4 et 6 m).

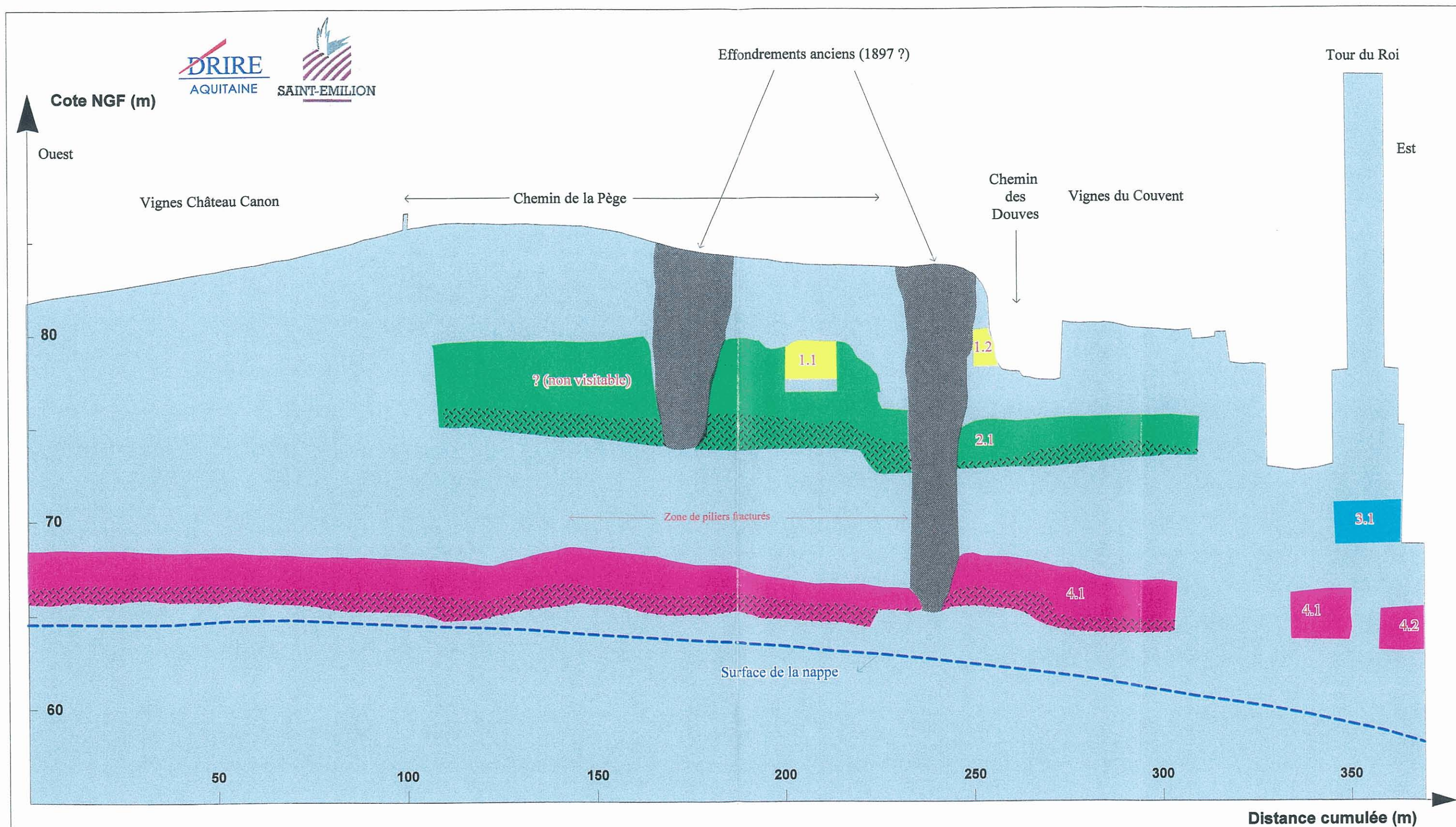


Figure 18 : Coupe verticale A-A' est-ouest, le long du chemin de la Pège, montrant la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines.
Echelle horizontale 1/1000 ; échelle verticale 1/200

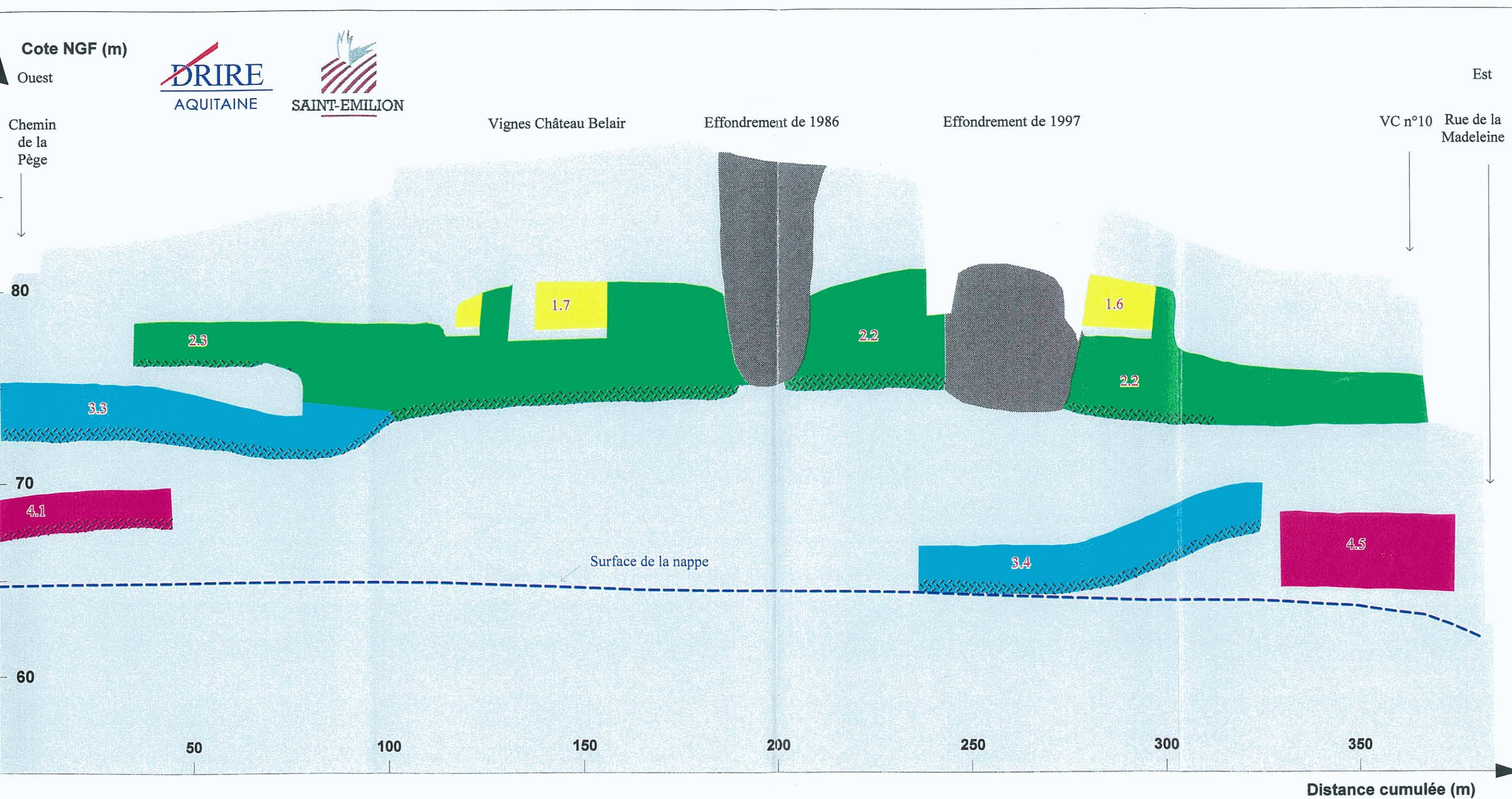


Figure 19 : Coupe verticale B-B' est-ouest, sous la Madeleine, montrant la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines.
Echelle horizontale 1/1000 ; échelle verticale 1/200

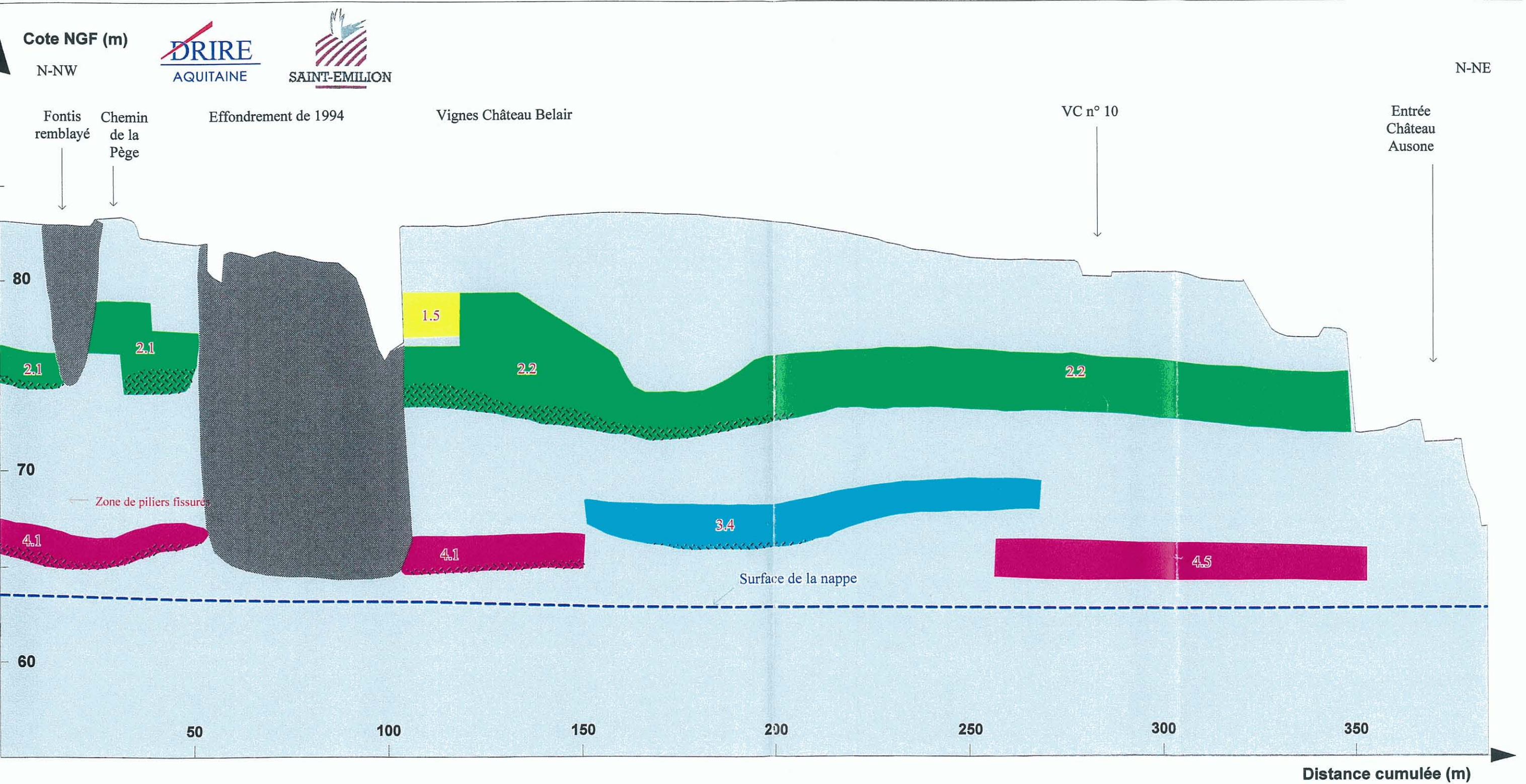


Figure 20 : Coupe verticale C-C' nord-sud, le long des Douves, montrant la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines.
Echelle horizontale 1/1000 ; échelle verticale 1/200

5.8.3. Coupe nord-sud le long des Douves

La coupe C-C' (fig. 20), orientée en réalité N-NW à S-SE, longe les Douves, à une vingtaine de mètres du rebord du plateau, sur près de 400 m de longueur, et coupe successivement le chemin de la Pège (VC n° 18, au nord) et le chemin de la Madeleine (VC n° 10, au sud).

Le niveau inférieur y est quasiment continu, sauf sur un tronçon d'une cinquantaine de mètres (occupé en surface par l'effondrement de 1994) qui est bordé de limites d'effondrement. La hauteur de défilage à ce niveau paraît régulière et peut-être estimée à 2,50 m. L'épaisseur de recouvrement est de l'ordre de 14 à 15 m, sauf sous le chemin de la Pège où elle atteint 17 à 18 m. Le niveau intermédiaire n'est présent que dans la partie centrale du profil, sur une longueur de 120 m environ. La hauteur de défilage semble relativement constante, de l'ordre de 2,50 à 3 m.

Quant au niveau supérieur, il semble continu sur toute la longueur du profil, mais a été interrompu par deux effondrements, l'un ancien (et remblayé en surface) en bordure du chemin de la Pège, et l'autre resté ouvert depuis 1994, au milieu des vignes. La hauteur du niveau supérieur est très variable, entre 2 et 5 m, avec localement une séparation mince qui isole une mezzanine rattachée au niveau supérieur. L'épaisseur de recouvrement est également très variable (de 4 à 8 m) le long du profil.

6. Analyse de la stabilité des carrières

6.1. DESCRIPTION DES EFFONDEMENTS HISTORIQUES

Les occurrences de certains effondrements survenus dans la zone d'étude sont connues par les archives du Service des Mines, qui ont été dépouillées et analysées par le Bureau des Carrières (Bousquet, 1998) et celles de la Commune de Saint-Emilion (Trébucq, 1998).

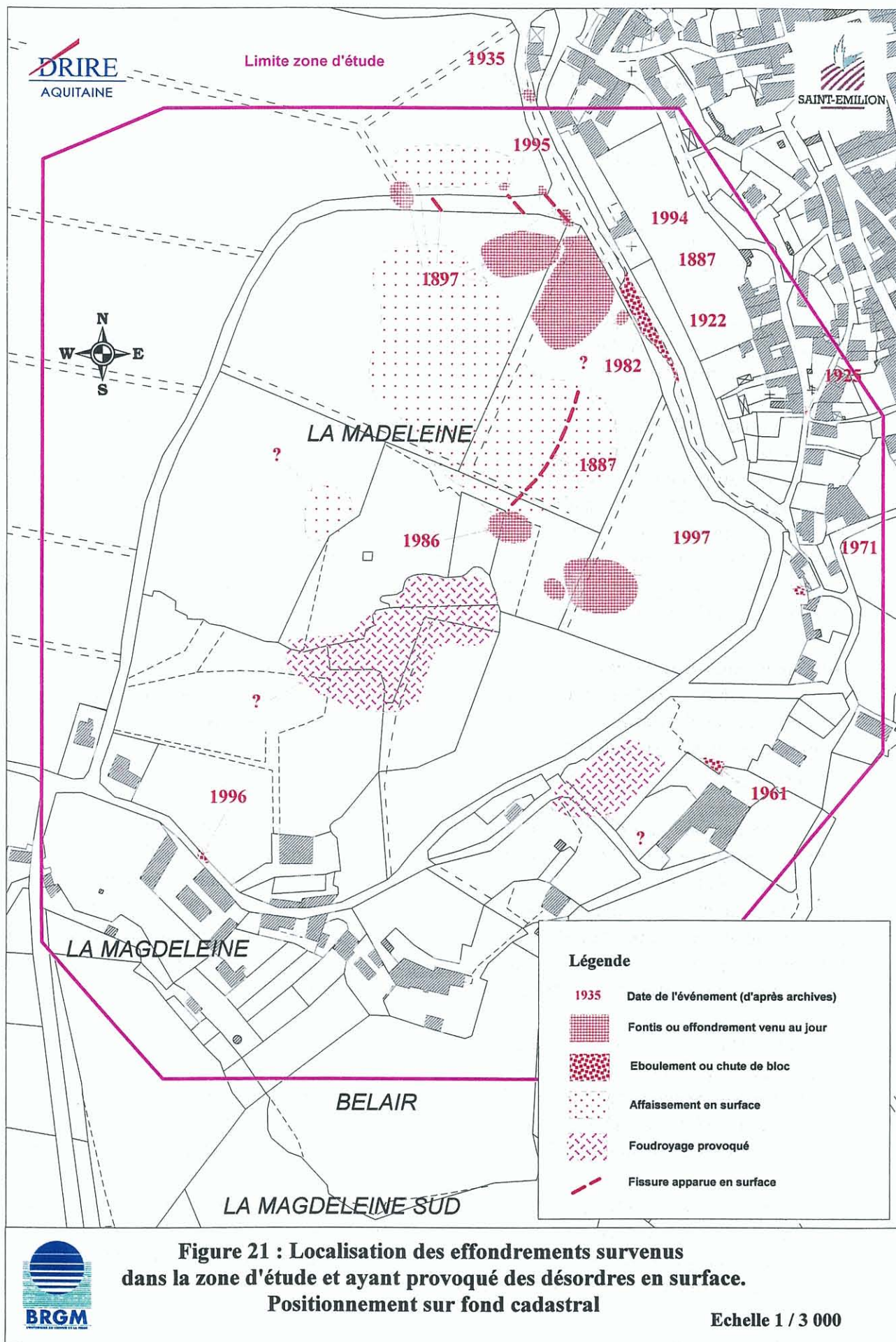
Ces archives font notamment état d'un effondrement (qualifié d'« éboulement considérable ») qui se serait produit le 8 juillet 1878, en cours d'exploitation, provoquant la mort de deux ouvriers (sans désordre en surface). Cet accident n'a pas pu être localisé mais il est survenu a priori dans les cavités 2.2 ou 2.3 (niveau supérieur) sous le vignoble de Belair, vraisemblablement sous la parcelle actuelle AO 71. La description de l'accident laisse penser qu'il s'est produit lors du creusement d'un étage superficiel (de type mezzanine) au-dessus d'un niveau surexploité, avec une planche intermédiaire de 65 cm d'épaisseur seulement. Si cette interprétation est la bonne, ceci signifierait que les niveaux superficiels discontinus, de type mezzanine, ont été excavés à partir du toit du niveau supérieur, dans les zones où le recouvrement paraissait suffisant. La planche intermédiaire séparant niveaux supérieur et superficiel, toujours très mince (50 cm à 1 m), aurait par endroit été ultérieurement réexploitée.

Deux nouveaux effondrements très importants se sont produits en 1887 et 1897, toujours sous le vignoble de Belair, mais cette fois à proximité de la rue des Doves et du chemin de la Pège. La localisation des dégâts observés en surface est indiquée sur la figure 21 qui récapitule les principaux désordres recensés dans la zone d'étude et qui ont pu être localisés avec précision.

Le 26 janvier 1887, un premier effondrement s'est traduit par un éboulement des entrées de carrières situées le long de la rue des Doves, sur une longueur de 70 m. Peu après (constat du 9 mars 1887), une fissure, de largeur maximale 25 cm, s'est ouverte sur une longueur de 80 m dans la parcelle actuelle AO 70. Cette fissure serait à relier avec des mouvements affectant le niveau supérieur de carrière. Elle se situe dans une zone actuellement bordée d'effondrement et où ce niveau n'est plus visitable. Le rapport du Service des Mines laisse penser que cette partie de carrière n'était déjà plus exploitée en 1887.

En mars 1897, après un hiver caractérisé par de fortes pluies, plusieurs effondrements se produisent de part et d'autre du chemin de la Pège, dans les parcelles de Belair et Canon. Un rapport du Service des Mines fait état de trois fissures et deux fontis, dont l'un de 8 m de diamètre, affectant le chemin de la Pège (fig. 21). Le compte-rendu de visite des carrières situées au droit des effondrements signale des piliers écrasés et des chutes de toit.

Les désordres de surface apparus de part et d'autre de la voie communale (donc sur des propriétés privées) ne sont pas précisés dans le rapport du Service des Mines. Néanmoins, la lecture de rapports ultérieurs (dont celui de 1935), l'exploitation de trois photos d'époque et les observations actuelles, laissent penser que ces désordres se sont manifestés au moins



par l'apparition d'un fontis de grande taille (30 à 40 m de diamètre, actuellement remblayé) à l'angle nord-est de la parcelle AO 71 et par de vastes affaissements (accompagnés très probablement de fontis localisés) tant au sud qu'au nord du chemin de la Pège (provoquant notamment le glissement d'une partie du mur qui borde le chemin de la Pège).

Le rapport signale que toutes les carrières sont désormais abandonnées, leur exploitation ayant été interdite par arrêté préfectoral en date du 30 décembre 1874. Certaines sont cependant utilisées en champignonnières et des exploitations clandestines de pierre sont signalées. Suite à cet accident, la circulation est interdite sur les chemins de la Pège et de la Madeleine, ce dernier ayant également été touché par les effondrements. Les fontis du chemin de la Pège seront comblés en mai 1898. Les autres fontis ouverts dans le vignobles ont également été comblés par déversement de gravats depuis la surface, comme on peut l'observer en galeries.

Le 2 avril 1922, un nouvel éboulement se produit, vraisemblablement dans le prolongement de celui de 1887, le long de la rue des Douves, et une masse de rocher tombe dans le jardin de la gendarmerie.

En janvier 1925, un effondrement provoque la création d'un petit fontis (30 cm de diamètre) au milieu de la chaussée, rue de la Porte Sainte-Marie. La carrière impliquée est une petite cave de 20 à 25 m² qui s'étend de part et d'autre de la rue. La localisation du phénomène tend à indiquer qu'il s'agit de la carrière indicée 08047X5036 (cavité 2.8). Celle-ci s'arrête désormais à l'aplomb de la chaussée, la partie située sous la route ayant vraisemblablement été comblée suite à cet accident. L'épaisseur de recouvrement sous la route a été estimée à un mètre seulement au niveau du fontis. Le rapport du Service des Mines indique que la carrière du niveau inférieur (cavité 4.4), séparée de la précédente par une planche de 5 m d'épaisseur, est en parfait état.

Le 2 décembre 1935, un nouvel effondrement se produit sous le chemin de la Pège (VC n° 18), au passage d'une charrette. Un fontis de 1 à 2 m de diamètre et 1 m de profondeur s'ouvre sous la route (à 30 m du puits n°23). Une visite des carrières indique que de nombreux effondrements se sont produits au niveau supérieur des carrières (bordure sud de la cavité 2.4). La description du phénomène laisse penser qu'il s'agit de chutes de toit. En revanche, le niveau inférieur (cavité 4.1), qui présente au taux de défruits moins élevé, est considéré comme en bon état. L'épaisseur de la planche intermédiaire entre les deux niveaux est estimée à 3 m.

A la suite de cet accident, le Service des Mines préconise de réaliser, au niveau supérieur, des piliers de soutènement en maçonnerie et un mur de contention autour de la zone effondrée, puis de remblayer celle-ci par déversement de gravats depuis la surface. Il semble que ces conseils aient été en partie suivis (sauf pour ce qui concerne les piliers de soutènement) et, de fait, la zone concernée est désormais inaccessible : le passage entre les cavités 2.1 et 2.4 est actuellement barré par les cloisons qui contiennent les injections faites depuis la surface (remplissage de grave-ciment effectué par sondages dans les années 1980). En revanche, le levé topographique détaillé des carrières situées sous le chemin de la Pège, bien que recommandé dès cette époque par le Service des Mines, n'a été réalisé qu'en 1997.

En avril 1961, après un printemps particulièrement humide, un éboulement se produit au droit des entrées du chai de Château Ausone (cavité 2.2). Cet effondrement n'a pas fait l'objet d'un rapport du Service des Mines mais a été rapporté par M. Vauthier et ses effets sont toujours visibles sur le terrain (travaux de réfection en cours actuellement).

En mai 1971, un rapport du Service des Mines signale des fissurations et décollement de toit au niveau de la voûte de la cavité 2.2, à l'endroit où la route passe en tunnel dans les carrières, entre la rue du Couvent et la rue de la Madeleine. A cette occasion, le niveau inférieur (cavité 4.5) est inspecté et jugé en parfait état. Le confortement de la voûte est préconisé et, de fait, des piliers et poutres en béton armé ont été mis en place, de sorte que le passage a été depuis de nouveau ouvert à la circulation.

Le 2 février 1982, un nouvel effondrement des entrées de carrières (cavité 2.2 du niveau supérieur) se produit le long de la rue des Doves, en arrière des éboulements de 1887 et 1922. La surface affectée est estimée à 500 m² selon le rapport (mais est plus vraisemblablement de l'ordre de 200 m²). La voie communale n° 10 est détruite sur 30 m de longueur et la rue des Doves, en contrebas, est comblée sur une longueur de 50 m. La cause de l'effondrement est attribuée à un cisaillement des piliers ayant provoqué l'affaissement du toit, épais de 4 à 5 m. Les déblais ont été évacués de la rue des Doves mais depuis lors, la VC n° 10 reste barrée à la circulation.

En 1986, un effondrement important se produit à la jonction entre les cavités 2.2 et 2.3 du niveau supérieur, et provoque la création d'un fontis en surface, sur la parcelle AO 76. Cet effondrement ne semble pas avoir occasionné la rédaction d'un rapport du Service des Carrières. Le fontis a été comblé par déversement de gravats. Il reste actuellement visible sous forme d'une légère dépression en surface.

En février 1994, un nouvel effondrement majeur se produit à proximité de celui de 1897. Un nouveau fontis de grande taille (30 à 40 m de diamètre) se forme dans les vignes de Belair au nord de la parcelle AO 70 et un fontis de plus petite taille se crée en bordure du chemin de la Pège, au niveau du carrefour avec la VC n° 10. Un autre fontis (2 à 3 m de diamètre) s'ouvre un an plus tard (en février 1995), de l'autre côté du chemin de la Pège, dans les vignes de Canon, là encore dans le prolongement des effondrements de 1897. Aucun de ces événements ne semble avoir fait l'objet de la rédaction d'un rapport par le Service des Mines. Les fontis apparus à cette occasion n'ont pas été comblés depuis. Une campagne de reconnaissance géotechnique (dix sondages destructifs réalisés dans l'axe du chemin de la Pège) a été menée en décembre 1994 (Geotec SA, 1994) et depuis, le VC n° 18 est interdit à la circulation sur ce tronçon.

Au printemps 1995, un bloc de 5 à 6 tonnes se détache du toit de la cavité 1.10 qui s'étend sous la VC n° 10, à proximité du Château Magdelaine. L'accident est analysé en 1997 à l'occasion d'une visite du Bureau des Carrières (Peragallo, Avr. 1997 -1) qui met en évidence la présence d'une fissuration du toit de la carrière. Depuis lors, des travaux de confortement ont été entrepris dans cette carrière (réalisation de poutres en béton armé et projection de béton fibré au toit) et la circulation a été partiellement rétablie sur le VC n° 10 (avec limitation du tonnage).

Il est d'ailleurs à noter que d'autres chutes de blocs et décollements de toit se sont produits dans les caves voisines, appartenant à MM. Martin et Penchaud. Des travaux de consolidation y ont également été entrepris mais les entrées de ces caves demeurent fragiles.

Le dernier effondrement constaté dans la zone d'étude date du 30 décembre 1997 et a fait l'objet d'un compte-rendu de visite du Bureau des Carrières (Peragallo, Jan. 1998). Il s'est produit sur la parcelle AO 86 (dans les vignes de Belair) et affecte le niveau supérieur des carrières (cavité 2.2). Un fontis de forme elliptique, d'une superficie supérieure à 1 000 m² (30 x 45 m), et de 4 à 5 m de profondeur, s'est formé en surface, provoquant la coupure d'une voie carrossable privée. Comme ceux apparus en 1994 et 1995, cet effondrement n'a pas été remblayé à ce jour.

Il est certain que les événements mentionnés ici ne constituent qu'une partie de ceux qui sont survenus dans la zone d'étude. La plupart de ceux qui se sont produits dans des terrains privés sans affecter la voirie communale n'ont pas fait l'objet de rapports du Service des Mines et il n'en subsiste pas de trace écrite même si on peut en observer les manifestations sur le terrain lors des visites en galeries.

Ainsi, un ancien fontis est visible dans la cavité 2.2, à quelques dizaines de mètres à l'ouest de l'effondrement de 1997. Ce fontis, qui a été remblayé par déversement d'ordures et de gravats depuis la surface, n'est pas mentionné dans les archives. Selon M. Bailly, qui a travaillé dans ces carrières comme champignonnière de 1959 à 1981 (l'arrêt des champignonnières date de 1984-85 dans la zone), ce fontis daterait du début du siècle, sans qu'il soit possible de déterminer avec certitude s'il s'est formé lors de l'effondrement de 1897 ou à une autre date.

Par ailleurs, plusieurs témoignages oraux (M. Bailly, M. Delbeck et M. Vauthier notamment) font état de foudroyages à l'explosif du niveau supérieur. Ceci aurait concerné deux zones distinctes situées de part et d'autre de la cavité 2.2 (respectivement sous Belair et Ausone) et aurait affecté une surface totale d'environ un hectare. La date de ces foudroyages n'a pas pu être déterminée mais se situerait aux alentours du début du siècle (peut-être vers 1910, en tout cas probablement après le grand effondrement de 1897). Le résultat de ces effondrements provoqués est nettement marqué dans le paysage, les zones correspondantes étant topographiquement plus basses de 3 à 4 m par rapport aux environs. Ces zones ont été partiellement remblayées et aplanies avant d'être plantées en vignes.

6.2. OBSERVATIONS DE TERRAIN

6.2.1. Effondrement de 1994

Il s'agit d'un effondrement de grande ampleur puisque s'étendant sur 70 m dans sa plus grande longueur, mais de forme très irrégulière. La zone centrale, faiblement affaissée, est entourée de fossés d'effondrement profonds par lesquels il est possible d'accéder aux galeries (fig. 22 et 23). La surface totale affectée par l'effondrement peut être estimée à 2 000 m² environ. L'épaisseur moyenne de recouvrement est de 4 à 5 m, dont 1 m de terre végétale en surface. Un autre fontis de petite taille (4 à 5 m de diamètre) s'est formé à la même date, au sud du carrefour entre le chemin de la Pège et la VC n° 10.



**Figure 22 - Effondrement apparu en surface dans le vignoble de Belair (parcelle AO 70)
en février 1994. Vue prise peu après l'effondrement**



**Figure 23 - Effondrement apparu en surface dans le vignoble de Belair en février 1994.
Vue prise en septembre 1998**

Les galeries du niveau supérieur situées en bordure de l'effondrement ne sont accessibles que du côté sud de l'effondrement (et de manière ponctuelle au nord). Les carrières situées au nord-ouest ne sont plus visitables, vraisemblablement depuis l'effondrement de 1897. Un fontis ancien, remblayé depuis la surface et protégé par un mur de soutènement de facture ancienne, est visible à proximité immédiate de l'effondrement de 1994 (côté sud-est).

La hauteur des galeries les plus proches de l'effondrement varie entre 4,50 et 6 m. En plusieurs endroits, ce niveau est divisé en deux par une mezzanine (rattachée au niveau superficiel sur le plan de la figure 12) avec une planche intermédiaire très mince. De nombreuses chutes du premier banc de toit sont visibles tout autour de l'effondrement, surtout dans les cavités situées à l'est, le long des Doves (niveau superficiel). Un effondrement de la mezzanine s'est produit ultérieurement (printemps 1999) à une vingtaine de mètres au sud-ouest du fontis. Cet effondrement, qui affecte une surface de 20 m² environ, a été manifestement initié par un décollement de toit, le long d'un niveau argileux de 5 cm d'épaisseur, situé à 30 cm au-dessus du toit de la stampe séparant la mezzanine de la galerie principale.

L'observation des abords montre que ce niveau argileux, qui fait office de surface de décollement, est saturé en eau. Le mécanisme qui déclenche le décollement est très vraisemblablement lié au gonflement des minéraux phylliteux présents dans le banc argileux. Le calcaire situé de part et d'autre de ce niveau est en effet très poreux et permet des circulations d'eau qui entraînent la saturation en eau des minéraux argileux, ce qui se traduit par un gonflement de ces derniers. Le banc calcaire situé sous le niveau argileux est ainsi soumis à une poussée verticale qui, ajouté à son propre poids, provoque sa chute.

Par ailleurs, le toit de la carrière à proximité immédiate de l'effondrement présente un réseau dense de fracturations karstiques, de nature à fragiliser sa résistance à la flexion (fig. 24).

Il n'existe pas de niveau intermédiaire sous l'effondrement de 1994. En revanche, il paraît vraisemblable que la cavité 4.1 du niveau inférieur s'étendait sous cet effondrement, mais elle n'est plus visitable dans ce secteur. A ce niveau, l'accès aux abords de l'effondrement n'est possible que par le côté est, le long de la rue des Doves (fig. 13).

Au nord-est de l'effondrement (sous le carrefour entre le chemin de la Pège et la VC n° 10), le niveau inférieur paraît relativement sain. Quelques piliers sont faiblement fissurés (mais nettement moins que dans l'axe du chemin de la Pège) et une petite chute du premier banc de toit (épaisseur 20 cm) s'est produite récemment. Aucune trace d'instabilité n'est visible sous le petit fontis qui s'est formé en 1994 au sud du carrefour avec la VC n°10.

A l'est et au sud de l'effondrement, le niveau inférieur paraît également relativement stable, à l'exception de quelques traces d'écaillage sur certains piliers, les plus proches de la zone effondrée. La limite d'effondrement se trouve sensiblement à l'aplomb du fontis venu au jour et coïncide donc parfaitement avec la limite d'effondrement du niveau supérieur. Elle se manifeste par des arrivées de « jable » (déchet d'exploitation, non consistant) derrière les piliers, ce qui traduit une rupture de la planche intermédiaire entre les niveaux inférieur et supérieur.



Figure 24 - Toit du niveau supérieur affecté d'une fracturation karstique dense, à proximité immédiate de l'effondrement de 1994



Figure 25 - Chute de toit importante, en bordure de l'effondrement de 1994 (vue prise au niveau inférieur)

Au sud de l'effondrement, on observe des blocs de plusieurs m³ qui se sont détachés du toit, par suite de la fracturation de ce dernier, et qui sont descendus de 1 m, voire davantage (fig. 25). Les piliers les plus proches de la limite d'effondrement sont fortement fissurés. Par ailleurs, on observe localement l'extrémité d'un pilier du niveau supérieur qui a poinçonné la planche intermédiaire pour tomber verticalement dans la galerie du niveau inférieur. Ce pilier présente une fissure mécanique subverticale mais est resté presque intact. Il repose sur un tas de blocs et de « jable » issus de la rupture de la planche intermédiaire. Ce type de rupture par poinçonnement est liée au fait que les piliers ne se superposent pas d'un niveau à l'autre comme le montrent clairement les levés topographiques disponibles (fig. 26). Il est à noter qu'à cet endroit, l'épaisseur de la planche intermédiaire peut-être estimée entre 5 et 6 m, dont probablement 1,50 à 2 m de « jable ».

6.2.2. Effondrement de 1995

Cet effondrement s'est traduit par la formation en surface d'un fontis de 2 à 3 m de diamètre, par lequel l'accès au niveaux superficiel et supérieur des carrières est désormais possible (fig. 27). L'épaisseur de recouvrement au droit du fontis est de l'ordre de 2,50 m seulement, dont 1,20 m de terre végétale meuble. L'épaisseur de la dalle calcaire au niveau du fontis est donc particulièrement mince et, par ailleurs, des intercalations de niveaux argileux entre les bancs de calcaire sont visibles. L'épaisseur de recouvrement atteint 4 à 4,70 m dans les parties restées saines autour du fontis.

D'autres effondrements sont visibles de part et d'autre de celui de 1995, généralement remblayés depuis la surface par déversement de remblais. Des amorces de fontis ont également été repérées au toit de la galerie, en particulier au sud du virage du chemin de la Pège, à proximité du petit fontis apparu en 1994 près du carrefour entre VC n° 10 et 18. Le toit de la carrière y présente des phénomènes de karstification et le calcaire du toit est très friable. Le premier banc du toit est déjà tombé par endroit et la terre végétale est visible au ciel de la carrière (fig. 28), signalant **l'imminence d'un nouveau fontis en formation.**

Sous l'effondrement, le niveau supérieur est divisé en deux par une mezzanine, avec une planche intermédiaire mince (40 à 80 cm d'épaisseur) mais le niveau superficiel est discontinu. Par endroits, le toit de la carrière s'arrête au niveau de la planche intermédiaire (absence de niveau superficiel creusé au dessus du niveau supérieur) mais localement la planche intermédiaire a disparu et les deux niveaux sont confondus, avec une hauteur de vide qui atteint 3,50 à 4,50 m, soit une hauteur de défilage (hors accumulation de déchets d'exploitation au sol de la carrière) de 5,50 à 6 m (confirmée par observation en sondages).

Tout autour de l'effondrement de 1995, de nombreuses chutes du premier banc de toit se sont produites (en particulier dans des zones où la dalle calcaire présente une intense fracturation karstique, avec des infiltrations abondantes). Mais on observe également des parties où la dalle de toit est intacte alors que les piliers du niveau supérieur ont basculé en se détachant du toit de la carrière (fig. 29). D'autres piliers et bords fermes présentent des fissures diagonales avec une amorce de basculement des écailles, qui se détachent dans les angles ou en paroi (fig. 30). Ces observations laissent penser à un phénomène d'appel au vide, consécutif à une rupture de la planche intermédiaire entre ce niveau de carrière et le niveau inférieur.

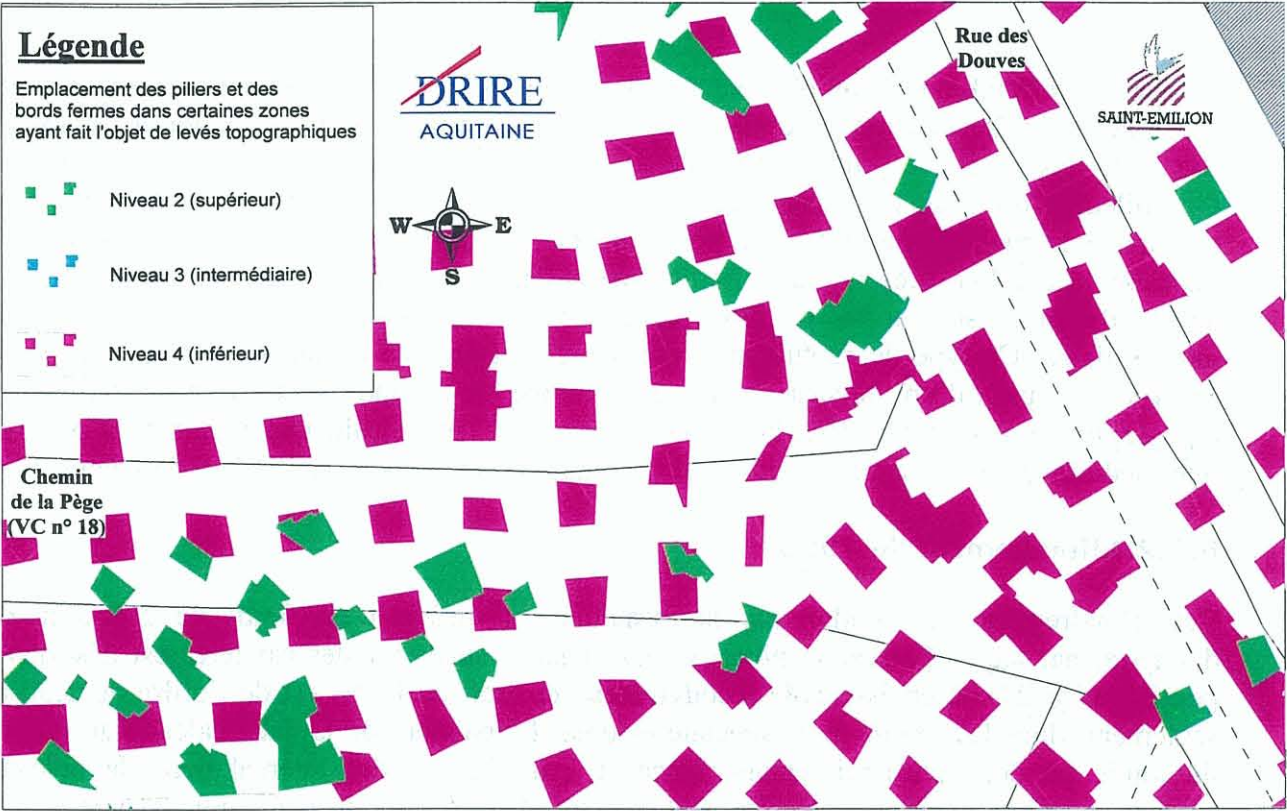


Figure 26 : Superposition des levés topographiques des niveaux supérieur et inférieur sous le chemin de la Pège et sous le chemin de la Madeleine, montrant la disposition anarchique des piliers d'un niveau à l'autre
Positionnement sur fond cadastral



Figure 27 - Fontis apparu en surface dans les vignes de Château Canon, en bordure du chemin de la Pège, lors de l'effondrement de 1995



Figure 28 - Amorce de formation d'un fontis au toit du niveau supérieur, à proximité du carrefour entre le chemin de la Pège et la VC n° 10. Présence de terre végétale et de racines au toit de la carrière



Figure 29 - Pilier détaché, dans une zone où le toit de la carrière ne présente pas de trace d'instabilité (niveau supérieur de carrière, sous le chemin de la Pège)



Figure 30 – Fissure diagonale dans un pilier avec amorce de basculement de l'écaille (niveau supérieur, sous le chemin de la Pège)

Le niveau inférieur est parfaitement accessible sous l'effondrement de 1995 (il n'existe pas de niveau intermédiaire à cet endroit). L'épaisseur de la planche intermédiaire entre les deux niveaux est localement de l'ordre de 7 m (voire 8,50 à 9 m en ajoutant l'épaisseur du jable accumulé au sol du niveau supérieur). Les galeries du niveau inférieur sont globalement en bon état, sauf précisément sous la zone concernée par l'effondrement de 1995. L'accès se fait par le nord, depuis l'entrée n° 22 (Logis de Malet). Les galeries paraissent stables au niveau inférieur jusqu'à une distance de 15 m environ au nord du chemin de la Pège. A partir de là, et en continuant toujours vers le sud, on observe une zone très fragilisée mais encore visitable (jusqu'à une vingtaine de mètres au sud du chemin de la Pège, distance au delà de laquelle l'accès est barré par une limite d'effondrement).

Dans cette zone (qui comprend la partie sous cavée sous le chemin de la Pège, sur une longueur de 75 m environ, à partir du virage marquant l'intersection avec la VC n° 10), tous les piliers sont fracturés et, pour certains, complètement éclatés (fig. 31) et le toit de la carrière est par endroits descendu de 20 à 30 cm (fig. 32). Des fissures ouvertes sont visibles au toit, dans l'axe de la quasi totalité des galeries. En particulier, une fissure mécanique de 10 à 12 cm d'ouverture découpe le premier banc de toit (épaisseur d'ordre métrique) sur 30 m de longueur, parallèlement au chemin de la Pège, entre celui-ci et l'effondrement de 1897. Ces fissures se croisent à angles droits aux intersections de galeries et plusieurs chutes du premier banc de toit se sont déjà produites, dont une qui a provoqué une montée de voûte de 2 m, au virage du chemin de la Pège (sous le fontis signalé en 1897). Les phénomènes observés laissent penser à une rupture en compression liée à une charge verticale excessive sur les piliers.

6.2.3. Effondrement de 1997

Cet effondrement s'est traduit par l'affaissement d'une zone de forme elliptique, de superficie supérieure à 1 000 m² (30 x 45 m). Le bloc effondré a basculé vers l'est, provoquant la coupure d'une voie privée carrossable (fig. 33). La limite d'effondrement est constituée d'un aplomb vertical en forme de fer à cheval, de 4,50 m de hauteur (fig. 34), sauf du côté ouest où le bloc effondré est resté quasiment au niveau du terrain naturel. L'effondrement a été accompagné d'un effet de souffle important ayant provoqué quelques dégâts collatéraux.

L'épaisseur de recouvrement au droit de l'effondrement est de 4 à 5 m, dont 0,80 à 1,20 m de terre végétale en tête (dans laquelle, l'effondrement révèle de nombreuses traces d'ossements, témoignant de la présence d'un ancien cimetière en bordure sud-est de l'effondrement). Le niveau supérieur de carrière est accessible à proximité de l'effondrement. La hauteur des galeries y atteint 6 m, mais plusieurs niveaux superficiels de type mezzanine bordent la zone effondrée (avec toujours une planche intermédiaire très mince, de 40 à 50 cm d'épaisseur). Dans les zones dépourvues de mezzanine, l'élancement des piliers est important (de l'ordre de 3). Les piliers bordant l'effondrement paraissent sains (fig. 35), mais plusieurs présentent des fissures mécaniques.

La portée entre piliers varie entre 3,50 et 4 m. Elle atteint localement 5 m et des fissures mécaniques sont visibles au toit à proximité de la zone effondrée. Plusieurs chutes de toit se sont d'ailleurs produites autour de l'effondrement.



Figure 31 - Pilier éclaté sous l'effet d'une surcharge verticale (niveau inférieur, sous le chemin de la Pège)



Figure 32 - Pilier éclaté et descente du toit de la carrière sous l'effet d'une surcharge verticale (niveau inférieur, sous le chemin de la Pège)



Figure 33 - Effondrement survenu en 1997 dans les vignes de Belair : aspect du bloc effondré, ayant entraîné la coupure d'un chemin carrossable



Figure 34 - Effondrement survenu en 1997 dans les vignes de Belair : aspect de la limite d'effondrement (côté nord)

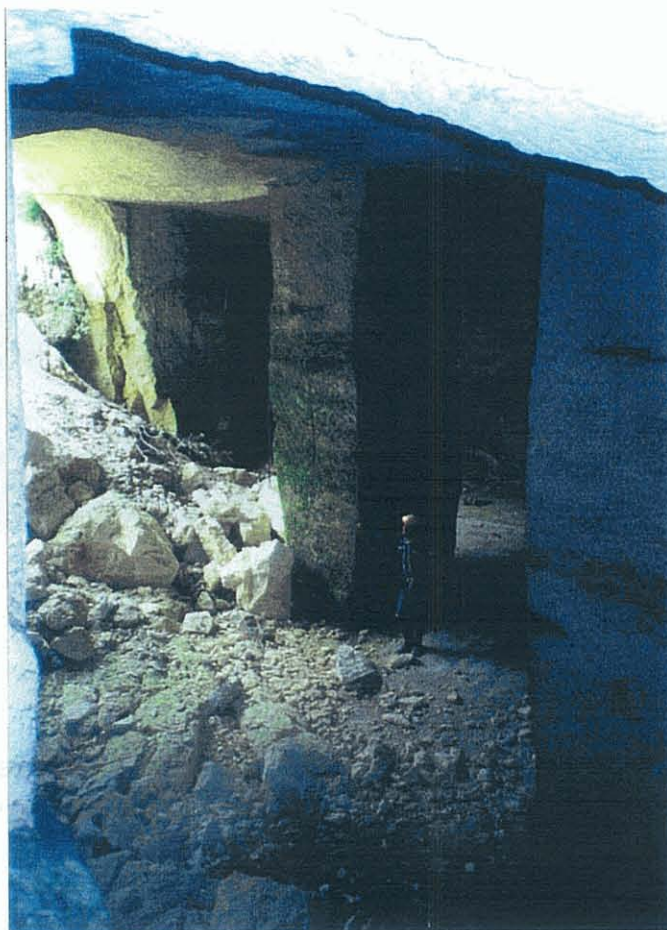


Figure 35 - Effondrement survenu en 1997 dans les vignes de Belair : aspect des piliers du niveau supérieur situé en bordure de l'effondrement (côté nord-ouest)



Figure 36 - Bordure de la zone foudroyée sous la parcelle AO 85 (Château Belair) au niveau supérieur

L'examen de la limite d'effondrement révèle par ailleurs que la dalle de toit présente localement un faciès de calcaire coquiller à polypiers particulièrement friable (fig. 5) et qu'un niveau d'argile plastique grise, de 5 à 10 cm d'épaisseur, se retrouve dans toute la zone affectée par l'effondrement, entre 30 cm et 1 m au dessus du toit de la carrière (fig. 6). La présence de ce niveau argileux quasi continu dans la zone est manifestement à l'origine de plusieurs chutes de toit localisées (dont certaines s'étendent sur plusieurs dizaines de m²).

Enfin, on observe, en bordure est de la zone effondrée, de nombreuses manifestations karstiques avec des infiltrations importantes à travers le toit (fig. 7).

Plusieurs autres fontis venus au jour sont visibles à proximité, dont un de grande taille. Le témoignage de M. Bailly, qui a utilisé ce niveau de carrière en champignonnière, indique qu'il s'agissait effectivement d'une zone considérée comme fragile car sujette à de fréquentes chutes de toit, favorisées par la présence de niveaux argileux au-dessus du premier banc de toit. Selon lui, un pilier de soutènement avait été construit dans les années 70 à côté d'un pilier jugé fragile car taillé dans un calcaire karstifié.

Il existe un niveau dit « intermédiaire » sous l'effondrement de 1997 (mais pas de niveau inférieur). La planche intermédiaire (stampe) entre les deux niveaux superposés varie entre 5,50 et 7,50 m, et probablement entre 4 et 6 m si on fait abstraction des déchets d'exploitation accumulés au sol de la galerie supérieure. Au droit du puits de communication entre les deux niveaux, situé au sud de l'effondrement, l'épaisseur de la planche intermédiaire est de 6 m. Ce niveau inférieur a également été exploité en champignonnière. La hauteur des galeries y est de 1,80 m en moyenne.

Les cheminements topographiques effectués en 1999 (annexe 2) montrent que ce niveau intermédiaire (exploité par le Château Belair comme circuit de visite, situé sous le chai) s'étend sous la partie effondrée en 1997. Or la zone située au droit du fontis ne présente aucune trace particulière d'instabilité, même si le calcaire y est également assez friable, avec de nombreuses manifestations karstiques.

6.2.4. Autres observations

Au-delà de ces observations réalisées au droit des effondrements les plus récents, d'autres éléments ont pu être notés à l'occasion des visites de carrières.

En particulier, le niveau supérieur de carrières, au sud de l'effondrement de 1997, présente des limites d'effondrement qui semblent correspondre aux bordures des parties qui auraient été foudroyées au début du siècle. Deux zones d'effondrement ont été repérées, l'une à l'ouest et l'autre au sud-est, ce qui tend à confirmer les témoignages oraux recueillis.

La zone foudroyée côté sud-est (sous la parcelle AO 90 appartenant à Château Ausone) s'étend au-dessus de galeries rattachées au niveau intermédiaire et dont le toit se situe à la cote moyenne de 65,80 m NGF. Ces galeries sont visitables sous la zone foudroyée et ne présentent aucune trace apparente d'instabilité. La cote du sol des galeries foudroyées au niveau supérieur étant d'environ 72 m, l'épaisseur de la planche intermédiaire serait de l'ordre de 6 m. La cote du terrain naturel actuel est en moyenne de 76 m dans le secteur.



Figure 37 - Poinçonnement de la planche intermédiaire par un pilier du niveau supérieur, en bordure de la zone effondrée à l'est de la parcelle AO 72 (vue prise au niveau intermédiaire)



Figure 38 - Descente d'un bloc du toit profondément fracturé sous la zone effondrée à l'est de la parcelle AO 72 (vue prise au niveau inférieur)

L'autre zone foudroyée, à l'ouest (sous la parcelle AO 85 appartenant à Château Belair) est isolée par une cloison à travers laquelle un orifice permet de pénétrer de quelques mètres dans les galeries foudroyées. Tous les piliers y présentent une fracturation très intense. De nombreuses fissures ouvertes découpent le toit qui, par endroits est descendu de 40 à 50 cm (fig. 36). Des galeries, rattachées également au niveau intermédiaire, s'étendent au dessous. La cote du toit de ces galeries serait de 67 m en moyenne, et l'épaisseur de la planche intermédiaire peut être estimée également à 6 m environ (elle est de 5 m au droit de l'escalier en colimaçon qui a été aménagé dans le chai de Belair). Ces galeries inférieures sont en bon état sauf au nord-ouest où on bute effectivement sur une limite d'effondrement qui semble se situer à l'aplomb du bord de la zone foudroyée au niveau supérieur. Dans ce cas, le foudroyage aurait donc eu des répercussions sur le niveau de carrière sous-jacent, et ceci malgré une épaisseur de stampe comparable à celle de la zone précédente.

Une autre série d'effondrements spectaculaires a été repérée en carrière à l'est de la parcelle AO 72 (à l'est du chemin de la Pège). Trois niveaux de carrières sont superposés dans cette zone et les effondrements affectent les trois niveaux simultanément, avec une limite d'effondrement qui semble coïncider. Un affaissement est visible dans la topographie de surface mais la date de l'événement n'est pas connue par les archives et rien ne permet d'affirmer qu'il s'agit d'un effondrement naturel ou d'un foudroyage provoqué.

Au niveau supérieur, on observe des fissures mécaniques importantes au toit et sur les piliers, ainsi que des chutes de toit localisées (dont certaines visiblement provoquées par la présence d'un niveau argileux située à 30 cm au dessus du toit). La limite d'effondrement elle-même est brutale et se caractérise par des chutes de toit importantes (avec des montées de voûte atteignant 3 m), des piliers éclatés et des remblais déversés depuis la surface, ce qui indique que les effondrements sont venus au jour.

Au niveau intermédiaire, on observe la présence de deux piliers du niveau supérieur qui ont poinçonné la planche intermédiaire et qui sont descendus verticalement à l'étage inférieur (fig. 37). Un tel phénomène avait déjà été subodoré au vu d'observations effectuées en bordure de l'effondrement de 1994, mais il est ici indéniable. A cet endroit, l'épaisseur de la planche intermédiaire entre les deux niveaux concernés peut être estimée à 2,50 m au maximum (ce qui implique que la dalle calcaire hors déchets d'exploitation ne doit pas mesurer plus de 1,50 m).

Au niveau inférieur, on observe également une limite d'effondrement assez brutale, mais qu'il est difficile de situer précisément par rapport à celles observées aux niveaux supérieurs. La zone effondrée est située derrière des murs de séparation, ce qui laisse penser qu'il s'agit d'effondrements anciens (mais vraisemblablement postérieurs à 1852 d'après les inscriptions relevées en paroi) qui se sont produit avant l'utilisation de cette carrière en champignonnière. Les abords de l'effondrement se caractérisent par une fracturation intense du toit, avec des chutes de blocs importants qui se détachent du toit (fig. 38). Les piliers sont tous fortement fissurés et pour la plupart complètement éclatés. Des arrivées de « jable » venant du niveau supérieur indiquent que la planche intermédiaire au-dessus du toit a été crevée, au moins localement.

A cet endroit, l'épaisseur de la planche intermédiaire entre les deux niveaux concernés peut être estimée à 4 m environ (c'est à dire probablement moins de 3 m de dalle calcaire hors déchets d'exploitation).

Plus au nord, toujours au niveau inférieur, on retrouve une importante zone d'effondrement située à l'est du chemin de la Pège et qui correspond vraisemblablement à la partie qui s'est effondrée en 1897. La zone se caractérise par d'importantes chutes de toit et des piliers éclatés. Les piliers voisins, situés dans une bande de 10 à 15 m de largeur en bordure de la zone effondrée, présentent de multiples fissures mécaniques. Dans cette zone, la hauteur des galeries est de 2 m en moyenne, la section des piliers est de 2,50 x 2,50 m et la largeur des galeries est de 3,50 m.

Comme précédemment, la zone effondrée a été isolée par des murs de séparation du reste des galeries. Ces murs ont probablement été construits à l'époque où la cavité était utilisée comme champignonnière (probablement jusque vers 1955). Il est à noter que dans cette zone, la nappe affleure au sol du niveau inférieur et provoque exceptionnellement l'inondation partielle de certaines galeries, comme en témoignent certaines inscriptions en paroi. A cet endroit, il semble ne plus exister de niveau supérieur visitable (sauf à l'est de la zone où un puits de communication permet d'évaluer l'épaisseur de la planche intermédiaire à environ 6,50 m, « jable » compris).

6.3. EVALUATION DES NIVEAUX DE CONTRAINTES

6.3.1 Sollicitations en compression

Lorsque des levés topographiques détaillés existent, il est possible de calculer le taux de défrètement des carrières souterraines (rapport entre la surface des vides et la surface totale de la carrière). La connaissance de ce paramètre et de l'épaisseur moyenne de recouvrement au-dessus de la carrière permettent d'évaluer, en appliquant la théorie de l'aire tributaire, la contrainte moyenne de compression qui règne dans les piliers sous l'effet de la charge verticale appliquée.

Un tel calcul ne peut conduire bien entendu qu'à des ordres de grandeur car il ne prend pas en compte les éventuelles concentrations de contraintes qui se produisent, notamment à la surface des piliers (et qui se traduisent souvent par un écaillage superficiel), au contact entre le toit et les piliers, où dans les angles, lorsque la section des piliers est irrégulière. Une détermination plus fine des niveaux de contraintes locales suppose la mise en œuvre de méthodes de mesure in situ, de type « verin plat ». Toutefois, il ne s'agit pas ici de procéder à une étude précise de la stabilité d'une partie donnée de carrière, mais plutôt de déterminer, de manière globale, les mécanismes susceptibles d'intervenir, et ceci à l'échelle d'une zone de 25 hectares comportant quatre niveaux de carrières, plus ou moins superposés.

La figure 39 indique la localisation des parties de carrières pour lesquelles un levé topographique détaillé est disponible et pour lesquelles il a été possible de déterminer l'ordre de grandeur des contraintes maximales en compression. Ces zones sont au nombre de dix, dont six concernent le niveau supérieur de carrières.

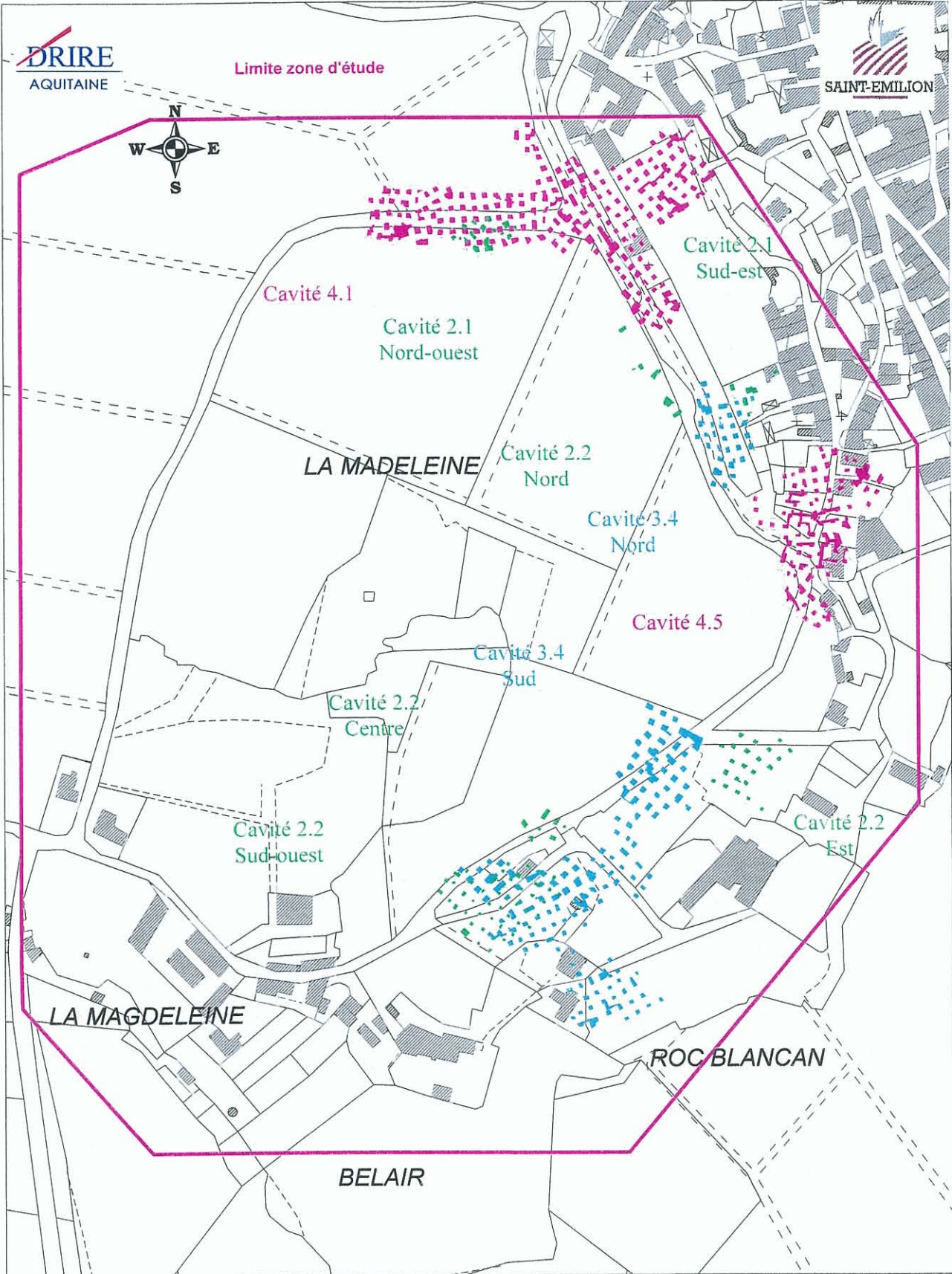


Figure 39 : Emplacement des parties de carrières pour lesquelles a été calculée la valeur du taux de défruitement

Echelle 1 / 3 000

Tableau 7 : Estimation des valeurs maximales de contraintes en compression régnant dans les piliers de certaines carrières souterraines de la zone d'étude

Numéro de la cavité	Niveau de carrière	Localisation et caractéristiques Origine du levé topographique	Taux de défrètement (%)	Surface de la zone étudiée (m ²)	Section moyenne des piliers (m ²)	Epaisseur maximale de recouvrement (m)	Contrainte maximale en compression (MPa)
2.1 Nord-ouest	Supérieur	Cavité bordée d'effondrements, sous le chemin de la Pège. Levé topographique effectué en 1997 par Canor	82,96	579	6,58	8,60	0,63
2.1 Sud-est	Supérieur	Extrémité de la cavité 2.1, au sud du Couvent, sous la parcelle AP 221 (immeuble Gracia). Levé fait en 1998 par Boyé	85,79	285	8,10	6,20	0,87
2.2 Nord	Supérieur	Extrémité nord-est de la cavité 2.2, en bordure de la rue des Douves. Levé effectué en 1991 par Boyé	88,20	495	9,75	4,80	0,81
2.2 Est	Supérieur	Chai du Château Ausone. Levé effectué en 1997 par Boyé	93,67	1 054	4,44	5,90	1,96
2.2 Centre	Supérieur	Extrémité sud-ouest de la cavité 2.2 à la limite des propriétés de Ausone et Belair. Levé fait en 1997 par Boyé. Partie nord	90,29	497	6,89	7,75	1,55
2.2 Sud-ouest	Supérieur	Extrémité sud-ouest de la cavité 2.2 à la limite des propriétés de Ausone et Belair. Levé fait en 1997 par Boyé. Partie sud	92,95	2 172	3,19	7,20	2,06
3.4 Nord	Intermédiaire	Extrémité nord-est de la cavité 3.4, sous la rue des Douves. Levé effectué en 1997 par Canor	80,59	1 243	6,81	15,10	1,56
3.4 Sud	Intermédiaire	Extrémité sud de la cavité 3.4, sous les propriétés de Ausone et Belair. Levé effectué en 1997 par Boyé	81,99	6 822	8,40	17,50	1,94
4.1	Inférieur	Partie de la cavité 4.1 située sous le chemin de la Pège et la rue des Douves. Levé effectué en 1997 par Canor	77,80	7 944	8,63	18,30	1,65
4.5	Inférieur	Cavité 4.5 (Cave Querre). Levé effectué en 1988 par un cabinet d'architecte	78,71	3 323	7,48	13,60	1,28

Pour chacune de ces zones a été calculée la surface totale, en arrêtant la limite à mi-chemin entre les piliers de bordure et les bords fermes de la carrière, afin de s'affranchir, au moins partiellement, des effets de bordure (report d'une partie des contraintes sur les bords fermes, par effet de voûte). La superficie totale des zones étudiées représente 2,5 ha, soit environ 10 % de la surface totale estimée des carrières souterraines dans la zone d'étude.

Pour chaque zone a également été calculée la surface moyenne des piliers (en faisant abstraction des stots dont la section excède 30 m²) et le taux de défruitement. L'épaisseur maximale de recouvrement est indiquée sans tenir compte de la présence éventuelle de vides au dessus (galeries rattachées à un niveau supérieur). La contrainte maximale en compression est calculée à partir du taux moyen de défruitement et de l'épaisseur maximale de recouvrement, en prenant une valeur moyenne de 20 kN/m³ pour le poids volumique des terrains de couverture (cette valeur correspond sensiblement au poids volumique moyen du calcaire exploité, à l'état d'humidité naturelle).

Les principaux résultats des calculs sont résumés dans le tableau 7. Il apparaît que **les taux de défruitement sont sensiblement plus élevés au niveau supérieur (entre 83 et 94 %) qu'au niveau inférieur (78 à 79 %), avec des valeurs intermédiaires pour le niveau moyen (81 à 82 %)**. La section moyenne des piliers (hors stots) est également plus importante pour les niveaux intermédiaire (7,6 m²) et inférieur (8,1 m²) que pour le niveau supérieur (6,5 m²). **Mais le niveau supérieur se distingue surtout par une extrême dispersion, tant des taux de défruitement que des sections moyennes de piliers (de 3,2 à 9,8 m² selon les cavités).**

Ceci est conforme aux observations de terrain selon lesquelles les galeries du niveau supérieur, qui sont vraisemblablement les plus anciennes, ont été exploitées de manière relativement anarchique avec des piliers de formes et de sections très irrégulières (ces piliers ont d'ailleurs parfois été réexploités ultérieurement, de manière clandestine, dans la mesure où ces galeries sont généralement les plus faciles d'accès). Globalement, les niveaux inférieurs, probablement exploités plus récemment, présentent des taux de défruitement plus faibles, des hauteurs de défilage inférieures (1,80 à 2,50 m) et des piliers de formes et de sections plus régulières.

En revanche, **la hauteur des galeries du niveau supérieur est nettement plus élevée qu'aux niveaux inférieurs**. Elle atteint localement jusqu'à 6 m (là où les niveaux superficiels de type mezzanine ont été exploités sans laisser de planche intermédiaire à mi-hauteur). Il en résulte des élancements très importants, atteignant 2,5 voire 3 pour certains piliers. Or de tels élancements provoquent l'apparition de contraintes de cisaillement pouvant conduire à des ruptures brutales.

Les contraintes maximales de compression calculées sont comprises entre 0,6 et 2,1 MPa. Les valeurs obtenues sont relativement homogènes aux niveaux intermédiaire et inférieur (1,3 à 1,9 MPa), mais présentent une variabilité importante au niveau supérieur. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues au niveau supérieur, pour des épaisseurs de recouvrement relativement faibles (6 à 7 m), dans des cavités qui présentent des taux de défruitement très élevés (de l'ordre de 93 %). Il est d'ailleurs vraisemblable que ces valeurs calculées soient plutôt sous-estimées, d'une part en raison des concentrations locales de

contraintes (dus à l'élanement important de certains piliers et à leur forme irrégulière) et d'autre part en raison de la surcharge périodique liée à la saturation des horizons superficiels lors d'épisodes pluvieux. Ce dernier phénomène influe sur les différents niveaux mais est d'autant plus sensible pour les niveaux supérieurs où il concerne une proportion plus importante du recouvrement.

Au niveau intermédiaire ou inférieur, les épaisseurs de recouvrement sont nettement plus importantes (jusqu'à 18 m) mais les taux de défrètement sont plus faibles, si bien que les contraintes maximales calculées en compression restent du même ordre de grandeur. Elles sont d'ailleurs vraisemblablement sur-estimées puisqu'il n'a pas été tenu compte des éventuels vides (du fait de la présence de galeries supérieures) qui diminuent la charge réelle appliquée.

Les essais de laboratoire sur éprouvettes (tab. 2), ont montré que la résistance en compression simple du matériau à l'état naturel est en moyenne de 3,4 MPa, mais ne dépasse pas 1,7 MPa en moyenne si l'on tient compte des effets du fluage, ce qui est nécessairement le cas dans la mesure où l'on s'intéresse à la stabilité à long terme. Les mesures disponibles indiquent par ailleurs que la résistance instantanée en compression simple peut descendre localement jusqu'à 0,9 MPa.

Toutes les contraintes calculées sont inférieures à cette valeur moyenne de 3,4 MPa (avec un coefficient de sécurité compris entre 1,6 et 5,4 selon les cavités) mais la plupart sont du même ordre de grandeur que la résistance moyenne à long terme et en tout cas nettement supérieures aux résistances les plus faibles mesurées sur éprouvettes. Ceci signifie que **les niveaux de contraintes calculés sont suffisants pour expliquer des ruptures en compression au niveau des piliers les plus sollicités, dès lors que le calcaire constituant ces piliers présente un faciès faiblement résistant.**

Par ailleurs, à l'état saturé, la résistance moyenne en compression simple s'abaisse à 2,3 MPa et la limite élastique du matériau n'est plus que de 1,3 MPa, toujours en moyenne. Or on a vu que le sol des galeries les plus basses, sous le plateau de Belair, se trouve sensiblement au niveau de la nappe dont les fluctuations sont susceptibles d'inonder certaines salles. Ceci concerne tout particulièrement la cavité 4.1 dont certaines galeries, situées de part et d'autre de la zone effondrée en 1897 (respectivement au sud du virage du chemin de la Pège et immédiatement à l'ouest de la rue des Douves) sont inondées quasiment toute l'année alors que l'épaisseur de recouvrement y est maximale (17 à 18 m).

6.3.2 Sollicitations en flexion

L'analyse de la stabilité du toit vis à vis des sollicitations en flexion est difficile à approcher par des calculs analytiques dans la mesure où le comportement du toit varie selon la structure des bancs qui le composent. L'observation des désordres rencontrés en galerie incite à distinguer deux cas.

Le premier cas correspond à la présence d'un niveau mince d'argile situé généralement à 30 cm au dessus du toit de la carrière et qui est très largement répandu, surtout au niveau supérieur. Dans ce cas, l'épaisseur du premier banc de toit est donc de 30 cm, l'argile

faisant office de surface de décollement. La résistance en flexion du calcaire est en moyenne de 0,96 MPa (avec des valeurs minimales enregistrées de 0,4 MPa) et sa résistance au cisaillement peut être estimée à 1,7 MPa (à partir de la résistance en compression du matériau).

Le moment de flexion maximal admissible pour le premier banc de toit est alors de 14,4 kN.m et l'effort maximal de cisaillement admissible s'élève à 0,34 MPa. La largeur moyenne des galeries est généralement comprise entre 3,50 et 4,50 m dans les carrières visitées mais peut atteindre localement jusqu'à 5 voire 6 m (notamment au niveau supérieur, sous le chemin de la Pège ou dans le chai de Château Ausone). Les portées maximales entre appuis (mesurées au niveau des intersections de galeries) atteignent au maximum 7 m (voire 8 m de manière exceptionnelle).

En assimilant la dalle de toit à une poutre sur appuis encastrés (modèle simple mais bien adapté pour modéliser le comportement de ce type de structure), le moment fléchissant maximal, pour une portée de 7 m, s'élève à 24,5 kN.m, excédant nettement le moment résistant de la structure. L'effort tranchant maximal en revanche (0,02 MPa) reste très inférieur à la résistance du matériau. Avec une telle portée, le premier banc de toit est donc amené à se décoller et à se rompre en flexion. La portée critique, pour laquelle le moment fléchissant dans le premier banc de toit atteint la valeur du moment résistant, s'élève à 5,40 m (et même 3,50 m en prenant comme résistance en flexion la valeur minimale enregistrée sur éprouvette). **Ceci explique le très grand nombre de chutes du premier banc de toit observées en carrière, lorsqu'un niveau argileux est présent au dessus du toit.**

En l'absence d'une telle couche argileuse, l'épaisseur du premier banc de toit, observée à l'occasion de ruptures de la dalle de toit, est plutôt de l'ordre de 1 m. Dans ce cas, le moment de flexion maximal admissible pour le premier banc de toit est de 160 kN.m et l'effort maximal de cisaillement admissible s'élève à 1,13 MPa. On considère toujours que la portée maximale entre appuis est de 7 m et que la dalle de toit est assimilable à une poutre sur appuis encastrés.

Si l'on suppose que le haut-toit (situé au-dessus du premier banc) est auto-porteur (par effet de voûte), le banc de toit n'est soumis qu'à son propre poids. Dans cette hypothèse, le moment fléchissant maximal s'élève à 82 kN.m et l'effort tranchant maximal à 0,07 MPa. On reste donc a priori en deçà de la rupture, avec un coefficient de sécurité de l'ordre de 2 (mais on dépasse le seuil de rupture dès lors que la résistance du calcaire constituant le toit de la carrière est située dans les valeurs basses de la fourchette des résultats de laboratoire).

Si l'on suppose maintenant que les terrains de couverture ne sont pas stables par eux mêmes (c'est en particulier le cas de la couche de terre végétale en surface), ils provoquent une surcharge sur la dalle de toit, qui s'ajoute au poids propre de la dalle. Une telle configuration s'applique au cas des niveaux supérieurs tels que ceux qui restent visitables autour de l'effondrement de 1995 en bordure du chemin de la Pège. Dans ce cas précis, l'épaisseur totale de recouvrement a été estimée à 2,50 m seulement au droit du fontis. Le moment fléchissant maximal s'élève alors à 204 kN.m et l'effort tranchant maximal à 0,17 MPa. Ces valeurs sont supérieures à la capacité de résistance de la structure et **ce type de mécanisme peut parfaitement expliquer les effondrements observés dans ce cas.**

6.4. ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DES EFFONDEMENTS

A défaut de pouvoir reconstituer la dynamique de l'ensemble des effondrements qui se sont produits dans la zone d'étude (et en particulier dans des secteurs qui ne sont désormais plus accessibles), les observations de terrain et les calculs analytiques donnent des éléments d'analyse qui permettent d'identifier certains des phénomènes en jeu.

En premier lieu, on constate que le niveau supérieur de carrières est celui qui est le plus affecté par les effondrements. Le mécanisme de ces mouvements de terrain n'est pas connu dans le détail mais plusieurs phénomènes semblent entrer en jeu.

Tout d'abord, **la présence d'un niveau argileux de 5 à 10 cm d'épaisseur, situé généralement à une trentaine de centimètres au-dessus du premier banc de toit, se retrouve de manière quasi généralisée à proximité de la plupart des effondrements observés à ce niveau.** La saturation en eau de ce banc d'argile (souvent après un hiver pluvieux) provoque le gonflement de certains minéraux phylliteux et entraîne le décollement du premier banc de toit qui se rompt en flexion. Ce type de chute de toit affecte des surfaces pouvant dépasser plusieurs dizaines de m².

Une telle chute de toit se traduit par une diminution de l'épaisseur du recouvrement et à terme, lorsque ce recouvrement devient trop mince, ceci peut conduire à la formation d'un fontis localisé en surface. C'est ce mécanisme qui semble être à l'origine du fontis apparu en 1995 au nord du chemin de la Pège.

Lorsque la chute de toit affecte la stampe (planche intermédiaire) qui sépare les mezzanines du niveau supérieur, elle entraîne automatiquement sa rupture (phénomène observé en 1999, à proximité du fontis de 1994). Or cette stampe, bien que très mince (50 cm à 1 m) permet un butonage à mi-hauteur des piliers du niveau supérieur qui, lorsque de telles mezzanines existent, présentent un élancement particulièrement important. **La rupture de la stampe entraîne l'apparition de fortes contraintes de cisaillement dans ces piliers très élancés, ce qui peut provoquer leur rupture.**

Ceci se traduit par des ruptures généralisées, du type de celle qui s'est produite en 1997 (la charge supportée par le pilier qui cède est reportée sur les piliers voisins, lesquels cèdent à leur tour sous l'effet de cette surcharge). La propagation de ces ruptures n'est cependant pas infinie, ce qui s'explique par la répartition très irrégulière des piliers et stots laissés en place.

Au-delà de ces hypothèses concernant le scénario probable des effondrements observés au niveau supérieur, il est évident que d'autres facteurs expliquent la localisation des désordres. Le premier concerne la lithologie. On a vu que la résistance mécanique du calcaire exploité présente de très importantes variations spatiales. **Or on retrouve des zones de calcaire particulièrement poreux et friable à proximité de la plupart des effondrements observés.** Ce type de faciès se caractérise par des résistances inférieures à la moyenne et de fortes porosités, donc une plus grande sensibilité à des surcharges ponctuelles liées à l'infiltration des eaux superficielles.

Par ailleurs, les **phénomènes karstiques** (sous forme de poches de dissolution, plus ou moins remplies d'argile résiduelle), bien que relativement peu développés à Saint-Emilion, se retrouvent fréquemment dans les secteurs du niveau supérieur affectés de désordres.

Enfin, certains **éboulements des bouches de cavage**, observés le long de la rue des Doves ou à l'entrée du chai d'Ausone, semblent reliés à des phénomènes d'altération superficielle, fréquents à proximité des entrées (conséquence notamment des actions du gel et du dégel, qui accélèrent le délitement des bancs calcaires), ainsi qu'à des mécanismes d'appel au vide. En effet, dans le cas des bouches de cavage ouvertes en pied de falaise, une partie des charges du massif se reporte par effet de voûte sur les piliers situés de part et d'autre des entrées et qui sont, de ce fait, soumis à des contraintes de cisaillement non négligeables.

L'exemple de l'effondrement de 1997 montre clairement que **la ruine d'une partie du niveau supérieur**, même sur une surface dépassant 1 000 m², **ne provoque pas nécessairement l'apparition de désordres dans les galeries situées aux niveaux inférieurs** (qui ne présentent pas la moindre fissuration mécanique apparente sous le fontis de 1997, de même d'ailleurs que sous certaines carrières foudroyées au début du siècle). Ceci confirme que plusieurs des effondrements enregistrés à Saint-Emilion ne concernent que le niveau supérieur, ce qui explique l'importance relative des désordres observés à ce niveau.

Les niveaux inférieurs ne sont cependant pas totalement dépourvus de désordres. Des limites d'effondrement bordent certaines cavités du niveau intermédiaire et surtout du niveau inférieur pour lequel il semble qu'une partie importante de la cavité 4.1, au sud du chemin de la Pège, se soit effondrée sous les parcelles AO 70 et 71 (probablement en 1897). De plus il existe plusieurs zones présentant des réseaux denses de fissuration mécanique, tant au toit que sur les piliers, notamment sous le chemin de la Pège et dans la moitié sud de la cave Querre.

Partout où les niveaux intermédiaires ou inférieurs se sont effondrés, les galeries situées au-dessus ne sont plus visitables. C'est notamment le cas du fontis apparu en 1994, pour lequel les limites d'effondrement coïncident de manière quasi parfaite d'un niveau à l'autre. Il est possible que les niveaux inférieurs se soient effondrés par suite de la rupture du niveau supérieur (contre-coup de la surcharge dynamique liée à la chute de la dalle du niveau supérieur). On a vu toutefois qu'un tel phénomène n'était pas systématique puisqu'il existe des galeries intactes qui s'étendent sous des effondrements localisés au niveau supérieur.

Ces effondrements qui affectent plusieurs niveaux superposés pourraient aussi être initiés par la rupture de la planche intermédiaire, sous l'effet du poinçonnement des piliers du niveau supérieur. Un tel phénomène a été observé en deux endroits distincts. En fait, il ne s'agirait pas réellement d'un mécanisme de poinçonnement (caractérisé par une résistance insuffisante à la compression) mais plutôt d'une rupture de la stampe en flexion (ou plus probablement en cisaillement) sous l'effet de la charge transmise par les piliers du niveau supérieur.

Un tel scénario est plausible, au moins pour l'effondrement observé à l'est du chemin de la Pège (sous la parcelle AO 72), à un endroit où la planche intermédiaire entre niveaux supérieur et intermédiaire ne dépasse pas 2 m. Dans ce cas, la ruine du niveau inférieur sous-jacent pourrait être considérée comme une conséquence de la surcharge dynamique occasionnée par l'effondrement des deux niveaux supérieurs.

Dans le cas des effondrements de 1897 et 1994, cependant, cette hypothèse ne suffirait pas à expliquer les désordres observés. Il semblerait plutôt que, **dans ce cas, la rupture du niveau supérieur soit une conséquence de la ruine des galeries inférieures**. La densité importante de fissuration des piliers et du toit, notée au niveau inférieur sous le chemin de la Pège et au sud de celui-ci, laisse plutôt penser à une rupture généralisée sous l'effet d'une charge excessive en compression.

L'élancement des piliers à ce niveau est cependant excessivement faible (la hauteur des galeries y est inférieure à 1,50 m, alors que la section moyenne des piliers est de 3 x 3 m), ce qui expliquerait l'absence de rupture brutale mais plutôt un écrasement progressif de la zone fissurée (on observe localement que le toit est descendu de 20 à 30 cm par rapport à sa position initiale). De telles déformations se traduisent en revanche, dans les niveaux situés au-dessus, par des effondrements plus brutaux, du fait de l'importance du taux de défrètement et de la hauteur des galeries.

Deux éléments pourraient peut-être conforter une telle hypothèse. Le premier tient au fait que l'épaisseur de recouvrement maximale observée dans la zone d'étude (18,30 m) correspond précisément à celle du niveau inférieur qui s'étend sous le chemin de la Pège. La contrainte de compression calculée à ce niveau est de l'ordre de 1,65 MPa, ce qui n'est pas le maximum enregistré dans la zone d'étude mais correspond néanmoins à une valeur élevée (et très certainement sous-évaluée puisque la section résistante des piliers éclatés doit être très inférieure à celle qui a été prise en compte). Le deuxième élément est lié à **la cote de la nappe par rapport à celle du sol des carrières**. En effet, on observe qu'en période de hautes eaux (printemps), la nappe affleure dans les galeries du niveau inférieur situées autour des effondrements de 1897 et 1994. Or on a vu que les résistances mécaniques du calcaire de Saint-Emilion dépendent étroitement de sa teneur en eau. A saturation, la résistance moyenne en compression n'est plus que de 2,3 MPa alors qu'elle atteint 3,4 MPa pour un taux d'humidité naturelle (soit une baisse d'un tiers) et même 3,8 MPa à l'état sec.

Le fait que la base des piliers du niveau inférieur soit située ici dans la zone de battement de la nappe pourrait expliquer les désordres qui s'y produisent (et en même temps le comportement plus plastique du matériau, qui accepte des déformations supérieures avant rupture). On peut d'ailleurs curieusement noter que, durant l'hiver 1994 qui a précédé l'effondrement de Belair, le niveau de la nappe, observé au niveau intermédiaire (sous le chai de Belair) avait atteint une cote jugée exceptionnelle et jamais observée au cours des vingt dernières années.

7. Synthèse et recommandations

7.1. CARTE DE L'ALEA

A partir des observations effectuées au cours des visites en carrières et des interprétations issues de l'analyse des occurrences d'effondrements, **une carte d'aléa a été élaborée afin de visualiser, de manière synthétique, quelles sont les zones où de nouveaux désordres sont le plus à redouter.**

Il est à noter que le terme « aléa » désigne ici **la probabilité d'occurrence d'un mouvement de terrain lié à la présence d'une carrière souterraine.** La force de l'aléa est caractérisée à la fois par la plus ou moins grande probabilité d'apparition du phénomène, et par sa plus ou moins grande intensité en cas de déclenchement. Cette notion d'aléa est généralement croisée avec celle de vulnérabilité qui correspond à la capacité des enjeux (c'est à dire, ici, les personnes et les installations de surface) à résister aux sollicitations créées par d'éventuels mouvements de terrain. Cette vulnérabilité s'entend à la fois vis à vis des vies humaines, vis à vis des éventuelles répercussions économiques et vis à vis de l'intérêt public.

Le croisement de l'aléa et de la vulnérabilité permet en définitive d'établir une carte du risque potentiel. On s'en tiendra cependant ici à l'établissement d'un zonage de l'aléa supposé. En effet, la détermination de la vulnérabilité relève d'une toute autre démarche, dans laquelle interviennent des considérations de nature économique-politique puisqu'il s'agit de hiérarchiser l'importance des enjeux de surface (maisons d'habitation, routes, bâtiments publics, sites touristiques, vignobles, etc.).

L'établissement d'une carte d'aléa dans la zone d'étude s'appuie évidemment sur les contours supposés des différents niveaux de carrières, tels qu'ils ont pu être établis à l'occasion de la présente étude. Il va donc de soi que ces contours, qui, pour certains d'entre eux, sont approximatifs faute de levés topographiques détaillés, doivent être considérés avec une certaine prudence et exigeront d'être précisés ultérieurement, lorsque des levés topographiques détaillés auront été réalisés.

Par ailleurs, **les contours tracés sont ceux des galeries actuellement visitables.** Or certaines zones situées sous le plateau de Belair, bien que dépourvues désormais de galeries visitables, ont assurément été exploitées en carrières souterraines, mais il est probable que celles-ci se soient effondrées dans la mesure où aucun accès praticable n'a pu être retrouvé. **Ces zones déjà effondrées, ayant généralement été remblayées, peuvent être considérées comme plus ou moins stabilisées et ne présentent a priori pas de danger particulier.** Faute d'information et par souci de prudence, il a néanmoins été jugé préférable de les caractériser par un figuré spécifique, accompagné de la mention « aléa inconnu ».

Comme l'indique l'analyse des occurrences de désordres observés, **les zones les plus fragiles semblent correspondre à celles où a été excavé un niveau superficiel**, qu'il s'agisse de caves isolées ou de mezzanines réalisées au toit de galeries rattachées au niveau supérieur. Ces cavités superficielles sont en effet soumises à des risques d'éboulement près des bouches de cavage et surtout à des risques de rupture localisée de la dalle de toit, du fait d'une faible épaisseur de recouvrement. **Ces zones sont donc systématiquement associées à un aléa fort**, à l'exception du chai du Château Magdelaine qui a fait l'objet d'un confortement en 1997.

Dans le cas des mezzanines aménagées au toit du niveau supérieur, on a vu que des ruptures localisées de la planche intermédiaire étaient susceptibles de provoquer des effondrements généralisés du niveau supérieur, si bien que **les contours de la zone d'aléa fort ont été intentionnellement élargis par rapport aux limites strictes des mezzanines**.

Ont également été caractérisées par un **aléa fort** les galeries situées à **moins de 20 m d'une limite d'effondrement** dans la mesure où ces zones de transitions apparaissent généralement fragilisées avec la présence de nombreuses fissures mécaniques. Enfin, il a été jugé nécessaire de rattacher à cette classe d'aléa **certaines galeries du niveau inférieur** qui présentent une **densité importante de fracturation mécanique**. Ceci concerne surtout une bande située sous le chemin de la Pège, ainsi que la partie sud de la cave Querre.

La classe d'aléa **dit moyen** concerne essentiellement les galeries du niveau supérieur (en dehors des zones détaillées précédemment), puisqu'on a vu que ce niveau était celui où se trouvaient concentrés la plupart des effondrements, ce qui s'explique essentiellement par le taux de défrètement particulièrement élevé, la faible épaisseur de recouvrement et l'importance des chutes de toit occasionnées par la présence d'un niveau de décollement au dessus du premier banc de toit.

Quant à l'aléa **dit faible**, il regroupe toutes les autres cavités visitables de la zone d'étude.

Les parties laissées en blanc dans la zone d'étude sont celles où aucune carrière souterraine n'a été repérée. Elles sont donc théoriquement à l'abri des conséquences d'un éventuel mouvement de terrain lié à la présence de cavités souterraines. Ceci est cependant à nuancer dans la mesure où certaines limites d'extension sont imprécises et que par ailleurs, certains effondrements peuvent avoir des répercussions au-delà des limites d'extension des cavités souterraines. En effet, en cas d'effondrement survenant en bordure de carrière souterraine (notamment à proximité des entrées, comme cela s'est déjà produit le long de la rue des Douves), il peut arriver que des désordres apparaissent au delà (blocs roulant en bas de la pente, talus d'effondrement dépassant l'aplomb du front de taille, etc.). Pour tenir compte de ce phénomène, et uniquement pour les zones d'aléa fort, les surfaces ont été agrandies par rapport aux limites d'extension des cavités souterraines. **La largeur de la bande de sécurité est prise égale à la profondeur du sol de la carrière** (ou à la hauteur de la falaise, pour les risques d'éboulement aux entrées).

Le résultat de cette démarche de représentation cartographique de l'aléa apparaît sur la figure 40. **Les zones d'aléa jugé fort représentent un peu moins de 13 % de la surface totale** de la zone d'étude et sont surtout concentrées sous le plateau de Belair, de part et d'autre des parties déjà effondrées. Sont également rattachées à cette catégorie une série de petites caves situées le long du chemin de la Madeleine ou en contrebas de ce dernier, ainsi que deux zones localisées sous les vignes du couvent, et les cavités troglodytes situées en bordure de la rue des Douves (dans la partie haute de celle-ci).

Sont enfin considérées comme sources d'aléa fort une partie de la cave Querre (située sous le carrefour entre la rue de la Porte Sainte-Marie et le chemin de la Madeleine) et une large bande s'étendant sous le chemin de la Pège (à l'ouest du carrefour avec le chemin de la Porte Saint-Martin) et dans les vignobles adjacents de Canon et Belair.

Les zones d'aléa moyen représentent 21 % de la surface totale de la zone d'étude. Elles sont également situées sous le plateau de Belair mais aussi sous les vignes du couvent, jusqu'à la rue du Couvent, et sous la voie communale n°10 (chemins de la Porte Saint-Martin au nord, et de la Madeleine au sud).

Les zones d'aléa jugé faible représentent environ 35 % de la zone d'étude et sont réparties de manière relativement homogène. Elles s'étendent notamment sous le chemin de la Pège (à partir du virage vers le sud-ouest), sous une grande partie de la rue des Douves et sous la rue du Couvent.

Les zones d'aléa inconnu représentent en définitive moins de 7 % de la zone d'étude et sont surtout concentrées dans la partie centrale du plateau de Belair.

Quant aux parties jugées **dépourvues de cavités souterraines** et donc exemptes d'aléa associé, elles sont principalement localisées en bordure du plateau, au sud de la voie communale n° 10, et **couvrent de l'ordre de 24 % de la zone d'étude.**

7.2. RECOMMANDATIONS

Les observations effectuées et la carte d'aléa qui en résulte donnent une idée plus précise de la nature des risques potentiels liés à la présence des carrières souterraines abandonnées dans cette partie périphérique au sud-ouest de Saint-Emilion, et permettent d'en tirer quelques recommandations en vue de préserver la sécurité des biens et des personnes exposés.

Un des objectifs de la présente étude était de caractériser le risque de propagation, vers l'intérieur du bourg, d'effondrements initiés dans les carrières souterraines situées en périphérie. Une telle interrogation paraît d'autant plus justifiée que la majorité des effondrements récents s'est effectivement produite dans la couronne périphérique extra-muros, et que les galeries souterraines sont en continuité de part et d'autre des Douves.

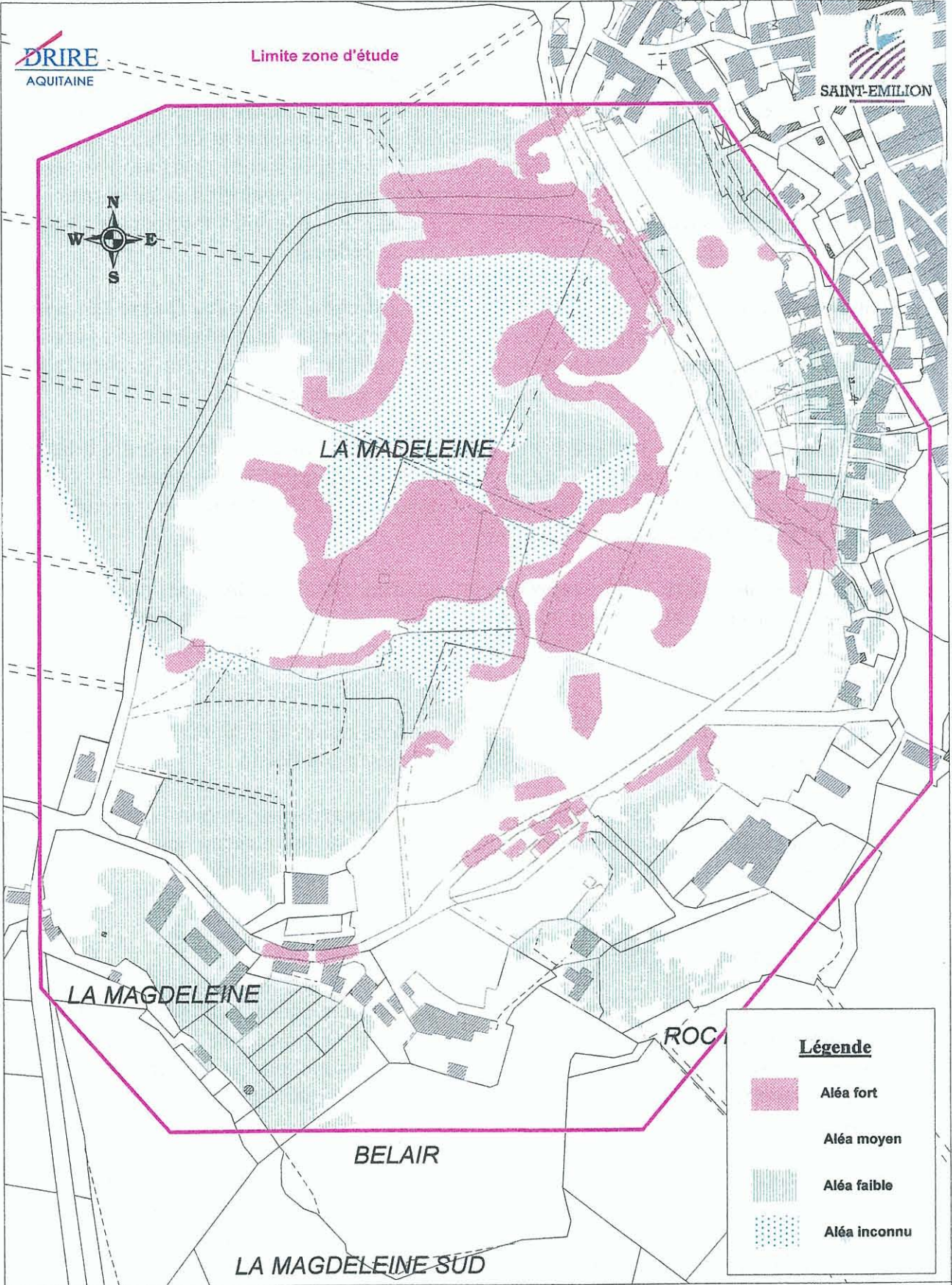


Figure 40 : Carte de l'aléa associé à la présence de carrières souterraines abandonnées dans la zone d'étude.
Positionnement sur fond cadastral

Echelle 1 / 3 000

Néanmoins, les observations effectuées tendent à indiquer que, dans la zone d'étude, **les principales sources d'instabilité sont localisées dans les niveaux supérieurs de carrière**, lesquels sont surtout présents sous le plateau, à l'ouest des Doves (à l'exception des cavités situées sous les vignes du Couvent). Par ailleurs, il apparaît que des effondrements survenus dans ces niveaux supérieurs n'entraînent pas systématiquement la ruine des niveaux inférieurs, ce qui **limite les risques de propagation en cas de rupture généralisée**.

Enfin, on constate que les galeries du niveau inférieur qui sont situées à l'est de la rue des Doves, sous la partie urbanisée de Saint-Emilion, sont en bon état apparent, à l'exception notable de l'extrémité sud de la cave Querre. L'ensemble de ces éléments milite en faveur d'une **minimisation des risques potentiels de propagation, vers le secteur intra-muros, d'effondrements initiés sous le plateau de Belair**. Un tel phénomène ne peut être totalement écarté mais il paraît peu probable compte tenu de l'état actuel des carrières de la zone.

En revanche, l'examen des différentes cavités encore visitables dans la zone d'étude, laisse prévoir que **de nouveaux effondrements sont à craindre, à court ou moyen terme, dans la zone d'étude**. Il ne semble pas que les **maisons d'habitation** soient directement menacées (encore que celles situées le long de la rue du Couvent, dans la partie intra-muros de Saint-Emilion, devraient faire l'objet d'un **diagnostic approfondi pour le confirmer**). Par contre, le vignoble et la voirie communale peuvent être **directement affectés en cas de nouveaux effondrements**.

Les niveaux supérieurs de carrières situées sous le vignoble présentent des risque d'instabilité indéniables et l'apparition de nouveaux fontis est à craindre, à l'occasion d'un épisode exceptionnellement pluvieux. Il n'est pas du ressort de la présente étude de proposer des solutions à ce problème dans la mesure où les terrains concernés relèvent du patrimoine privé. Un levé topographique détaillé de l'ensemble des cavités est de toute façon indispensable pour arrêter un choix quant à la technique la mieux adaptée (foudroyage sélectif à l'explosif, remplissage des vides ou confortement par piliers de soutènement et clouage du toit) et évaluer le coût d'une telle opération.

Pour ce qui concerne la voirie communale située au dessus de zones sous-cavées, les axes directement menacés sont le chemin de la Pège (VC n°18), le chemin de la Madeleine dit aussi chemin de la Porte Saint-Martin au nord (VC n° 10) et la rue des Doves (ainsi que la rue du Couvent, mais celle-ci relève plutôt du secteur intra-muros).

Le chemin de la Pège est actuellement interdit à la circulation dans la zone d'étude et cette mesure demeure totalement justifiée en regard de l'importance des désordres observés dans les carrières sous-jacentes. En fait, seul un tronçon d'une centaine de mètres de longueur (à partir des Doves) est directement menacé du fait de la présence d'un niveau inférieur fortement dégradé. **Une remise en circulation de ce tronçon est impossible sans un travail de confortement de ce niveau inférieur**. L'accès à ce niveau étant trop dangereux pour permettre une intervention en galerie, ceci suppose nécessairement un comblement par injection de coulis depuis la surface, et ceci sur une largeur d'au moins 20 m, centrée sur la route. Le volume de coulis à injecter peut être estimé à 2 500 m³, ce qui représente un coût d'environ 3 MF.

Il resterait ensuite à **conforter le niveau supérieur de galeries**, lequel est bordé d'effondrements, si bien que son extension exacte n'est pas connue. Une **campagne de reconnaissance préalable** (par géoradar, microgravimétrie ou, à défaut, par sondages destructifs) est donc **indispensable pour préciser l'extension de ce niveau supérieur**. S'il s'avère qu'il ne s'étend pas au delà de la partie visitable, celle-ci pourrait être comblée avec du sable mis en place par voie hydraulique après construction de murs de contention de part et d'autre de la zone à traiter. Le volume de sable pour le remplissage du niveau supérieur sous la route pourrait être évalué à 6 000 m³ environ (auxquels il faudrait ajouter le coulis nécessaire au clavage du toit). Le coût d'une telle solution serait de l'ordre de 2 MF, soit un **total estimé grossièrement à 5 MF pour permettre la réouverture du chemin de la Pège**.

En ce qui concerne la **rue des Doves**, la partie haute est également interdite à la circulation, mais ce n'est plus le cas au niveau du raccordement avec la rue de la Porte Sainte-Marie, alors qu'on est à l'aplomb de la partie instable de la cave Querre. **Des mesures de confortement (par renforcement des piliers et du toit) de cette carrière sont donc préconisées, après diagnostic approfondi**, comme recommandé par le Bureau des Carrières (Peragallo, Oct. 1998 - 2). Ceci concerne également **le tronçon de route qui passe en tunnel dans le niveau supérieur de carrière**, à un endroit où la dalle de toit présente de nombreuses fissures mécaniques, et ceci malgré une première tentative de confortement.

Par ailleurs, il existe un **risque non négligeable de nouveaux éboulements de la falaise qui surplombe les doves** (comme ceux qui se sont déjà produits en 1887, 1922 et 1982). Pour éviter ce type d'événements, un **confortement des bouches de cavages situées le long des Doves est préconisé**. Un tel confortement pourrait être mené de pair avec un **aménagement des entrées de carrières en vue d'en optimiser le coût**.

La **voie communale n° 10**, dans le secteur d'étude est interdite à la circulation sur toute la partie nord de son tracé et sa réouverture exigerait d'importants travaux de mise en sécurité. En revanche, le **tronçon sud**, bien que réglementé, reste ouvert à la circulation. Sur ce tronçon, **des mesures de confortement, déjà préconisées par le Bureau des Carrières (Peragallo, Juin 1997 - 1), sont à prévoir**.

Conclusions

La présente étude a permis de **délimiter**, pour chacun des quatre principaux niveaux de carrières souterraines abandonnées, l'**extension approximative des vides**, et ceci à l'échelle d'une zone de **25 hectares**, représentant **un tiers environ de la couronne périphérique** immédiate de Saint-Emilion. Plusieurs études ponctuelles menées depuis plus de 20 ans, notamment par le **Bureau des Carrières** du Conseil Général de Gironde et le **BRGM**, avaient déjà apporté des éléments quant à l'identification des principaux accès et à la délimitation de certaines des carrières de la zone, mais le présent travail permet de **fixer, de manière globale, la géométrie des anciennes exploitation et leur disposition, par niveau**.

La connaissance de la géométrie des carrières reste encore parcellaire dans la mesure où **moins de 20 % des surfaces visitables ont fait l'objet, à ce jour, de levés topographiques détaillés**. La présente étude a cependant permis de fixer un **canevais cohérent et géoréférencé**, qui facilitera la réalisation et l'interprétation des futurs travaux cartographiques, et qui donne **une vue d'ensemble de la disposition des anciennes carrières**, base nécessaire pour une analyse des risques qui y sont associés. L'étude montre ainsi que la totalité des **surfaces sous-cavées actuellement visitables** représente environ les **deux-tiers de la superficie** de la zone d'étude (cette proportion devait même approcher 80 %, il y a un siècle, avant que ne se produisent la plupart des effondrements).

Par ailleurs, les **observations de terrain et l'analyse des effondrements survenus** ont permis de dresser un **diagnostic sommaire de l'état des carrières souterraines** dans la zone d'étude et surtout d'**identifier les principaux mécanismes** qui interviennent dans la ruine de ces dernières. Ceci a montré en particulier que les **cavités les plus vulnérables** (et où la fréquence des effondrements est la plus grande) sont celles qui sont rattachées aux **niveaux les plus superficiels**, même si localement certains des désordres peuvent être initiés dans les niveaux inférieurs de carrière (en particulier dans les zones de battement de la nappe) . Sur la base de cette analyse, **une carte de l'aléa lié à la présence des carrières souterraines a été proposée pour la zone d'étude**.

Cette carte, qui pourra être affinée à l'occasion de futurs diagnostics ponctuels de stabilité et au vu de levés topographiques ultérieurs, constitue une **base pour l'analyse des risques dans la périphérie sud-ouest de Saint-Emilion**. En particulier, l'analyse de la dynamique des effondrements conduit à penser que les **risques de propagation vers le bourg d'effondrements initiés en périphérie, sont relativement limités et ne justifient pas, en l'état actuel des choses, la réalisation d'ouvrages spécifiques de protection**. En revanche, l'état de dégradation avancé d'une partie du **niveau supérieur, situé sous les vignobles**, devrait inciter les propriétaires à **prendre rapidement des mesures conservatoires**. De même, la **voirie communale** située dans la zone d'étude (chemins de la Pège et de la Madeleine, rues des Douves, du Couvent et de la Porte Sainte-Marie) est **gravement menacée** par l'existence des carrières souterraines et **des mesures urgentes sont à prendre** pour assurer la sécurité des usagers, voire pour remettre en circulation certains tronçons actuellement fermés. Des propositions ont été faites dans ce sens pour aider au choix des solutions techniques adaptées.

Bibliographie

Allard J.F. (1972) - Reconnaissance sommaire des carrières souterraines sous l'agglomération de Saint-Emilion (Gironde). Rap. BRGM 72 SGN 194 AQI, 13 p.

Allard J.F. (1975) - Méthode adoptée dans le Sud-Ouest de la France pour l'étude de la stabilité des carrières souterraines. Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux I, 171 p.

Alvinerie J. (1980) Ancienne carrière souterraine du château Le Couvent à Saint-Emilion (Gironde). Examen géotechnique d'une zone susceptible d'être utilisée. Note technique, 5 p.

Antoinet E. et Largillier J.F. (1998) - Eglise monolithe de Saint Emilion. Etude complémentaire de stabilité. Rap. Antea A 12833.

Beaufrère C. (1987) - Stabilité des carrières souterraines abandonnées de l'Entre-Deux-Mers (Gironde). Influence des facteurs géologiques et mécaniques. *Documents du BRGM* n°122, 439 p.

Belperron S. (1988) - Etude de stabilité de la carrière de "La Madeleine" et des falaises calcaires situées au droit des entrées. Note technique. Rap. BRGM 88 AQI 43, 13 p.

Belperron S. et Lhoste J. (1989) - Diagnostic de stabilité de la carrière souterraine abandonnée à l'aplomb de la maison du vin et du syndicat d'initiative. Rap. BRGM 89 SGN 307 AQI, 12 p.

Bertrand L., Bonvallet J., Both J., Feuga B. et Wotjkowiak F. (1982) - Etude de l'influence d'un trafic routier de fort tonnage sur la stabilité des carrières souterraines abandonnées situées à l'aplomb du CD 122, rue Guadet. Détermination du confortement à mettre en œuvre. Rap. BRGM 82 SGN 255 AQI, 19 p.

Bichot F., Dupuy A. et Paillat P. (1997) - Bureau des carrières de la Gironde. Base de données des carrières souterraines : Modèle conceptuel et études de cas. Rapport BRGM R 39717.

Both J. et Lhoste J. (1978) - Reconnaissance des anciennes carrières souterraines situées à la périphérie de la vieille ville en bordure des remparts Est et Ouest. Etude réalisée pour la Direction Départementale de l'Equipement de la Gironde. Rap. BRGM 78 AQI 11, 5 p.

Both J. et Séguy I. (1987) - Les carrières souterraines de pierre de taille à Saint-Emilion (Gironde) XV°-XX° siècle, 10 p.

Bousquet M. (1998) - Analyse des archives du Service des Mines, Commune de Saint-Emilion (extraits). Fiches de stage. Université de Bordeaux I. Vérifiées par le Service des Carrières.

Carrara M. et Wotjkowiak F. (1983) - Résultat des essais complémentaires au vérin plat et mise en place de dispositifs de surveillance dans les carrières souterraines abandonnées situées à l'aplomb du CD 122, rue Guadet. Rap. BRGM 83 AQI 45, 7 p.

Denis A., Riondy G. et Wotjkowiak F. (1991) - Eglise monolithe de Saint-Emilion. Diagnostic de stabilité des piliers et recommandations. Rap. BRGM R 32668 AQI 4S 91, 47 p.

Dubreuilh J. et Karnay G. (1995) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Libourne (804). Orléans : BRGM. Notice explicative par J. Dubreuilh, avec la collaboration de F. Charnet, L. Lenoir (1995), 60 p.

Geotec SA. (1994) - Travaux de sondage. Rapport de sol. Etude réalisée à la demande du Conseil Général de la Gironde, Service des Carrières et pour le compte de la commune de Saint-Emilion. Rap. 94/1295/B, 29 p.

Largillier J.F. (1996) - Diagnostic de stabilité des carrières du Chateau-Canon à Saint-Emilion. Etude réalisée pour la société Entreprise et Patrimoine. Rap. Antea A 06643, 9 p.

Lhoste J. (Août 1995) - Commune de Saint-Emilion (Gironde). Diagnostic de stabilité d'une carrière souterraine du château Magdelaine. Etude réalisée pour les Etablissements Jean-Pierre Moueix, Château Magdelaine. Rap. Antea A 03909.

Lhoste J. (Sept. 1995) - Diagnostic géotechnique d'une carrière souterraine propriété de Madame Reiffers aux Grandes Murailles, ville de Saint-Emilion (Gironde). Etude réalisée pour la SCI Les Grandes Murailles, château Côte de Baleau. Rap. Antea A 04041, 11 p.

Lhoste J. (Août 1997) - Diagnostic de stabilité des carrières souterraines au droit du projet de chai à vin au château Canon à Saint-Emilion. Etude réalisée pour Monsieur Kolasa. Rap. Antea A 10461, 13 p.

Lhoste J. (Nov. 1997) - Château Canon à Saint-Emilion. Avant-projet détaillé des travaux de confortement de l'entrée des carrières souterraines. Etude réalisée pour SC Château Canon. Rap. Antea A 11171, 13 p.

Lhoste J. (Fév. 1998) - Diagnostic géotechnique d'une cave souterraine propriété de Monsieur Beyney au 3 rue du Tertre de la Tente. Rap. Antea A 12159, 8 p.

Lhoste J. (Avr. 1998) - Diagnostic géotechnique de carrières souterraines propriété de Madame Apelbaum, place du Marché à Saint-Emilion. Rap. Antea A 12595, 12 p.

Lhoste J. (Août 1998) - Diagnostic géotechnique d'une carrière souterraine propriété de Monsieur de Lesquen (parcelles n° 174p et 175p, section AO), Saint-Emilion. Rap. Antea A 13705, 10 p.

Lhoste J. (1999) - Diagnostic de stabilité des carrières souterraines situées sous la Tour du Roy, Saint-Emilion (Gironde). Rap. Antea A 15855, 16 p.

Peragallo J. (Avr. 1997 - 1) - Commune de Saint-Emilion : Dégradation de la voie communale n°10 dans les caves du Château Magdelaine. Procès verbal de visite n°97/09. Bureau des Carrières, 2 p.

Peragallo J. (Avr. 1997 - 2) - Commune de Saint-Emilion : Exploration d'un aplomb sis sur la parcelle AO n°79. Procès verbal de visite n°97/10. Bureau des Carrières, 2 p.

Peragallo J. (Juin 1997 - 1) - Commune de Saint-Emilion : Examen de la voirie communale dans les secteurs de « La Magdeleine » et « La Madeleine ». Procès verbal de visite n°97/14. Bureau des Carrières, 3 p.

Peragallo J. (Juin 1997 - 2) - Commune de Saint-Emilion : Dégradation du soubassement de la rue de « La Madeleine » en limite de la parcelle AO 106 (entrée Château Ausone). Procès verbal de visite n°97/16. Bureau des Carrières, 2 p.

Peragallo J. (Jan. 1998) - Commune de Saint-Emilion : Effondrement de carrières souterraines au lieu-dit « La Madeleine ». Procès verbal de visite n°97/30. Bureau des Carrières, 3 p.

Peragallo J. (Mars 1998) – Commune de Saint-Emilion : Exploration des étages inférieurs au lieu-dit « La Madeleine » et sous la voie communale n°10 de la Porte Saint-Martin. Procès verbal de visite n°98/06. Bureau des Carrières, 3 p.

Peragallo J. (Oct. 1998 - 1) – Commune de Saint-Emilion : Affaissement de la chaussée, rue de la Madeleine, en vis à vis de la propriété Deminière. Procès verbal de visite n°98/20. Bureau des Carrières, 2 p.

Peragallo J. (Oct. 1998 - 2) – Commune de Saint-Emilion : Etat des carrières souterraines, rue des Douves. Secteur des caves Querre et du tunnel. Procès verbal de visite n°98/17. Bureau des Carrières, 4 p.

Peragallo J. (Oct. 1998 - 3) – Commune de Saint-Emilion : Inspection du puits communal à l'angle de la rue du Couvent et de la rue de la Porte Sainte-Marie. Procès verbal de visite n°98/18. Bureau des Carrières, 2 p.

Peragallo J. (Déc. 1998) – Commune de Saint-Emilion : L'effondrement de « Belair » en 1897. Reconstitution sommaire des événements d'après les archives du Service des Mines. Bureau des Carrières, 2 p.

Rai M.A. (1984) - Contribution à l'étude du confortement des piliers dans les exploitations par chambres et piliers abandonnées. Thèse de Docteur-Ingénieur. Institut National Polytechnique de Lorraine, 90 p.

Trébucq S. (1998 - 1) - Les carrières souterraines de Saint-Emilion. Rapport de stage. Institut E.G.I.D. Bordeaux III, 22 p.

Trébucq S. (1998 - 2) - Les entrées de carrières et les puits de la commune de Saint-Emilion. Mairie de Saint-Emilion, 5 vol.

Trégoat O. (1997) – Cartographie des sols du vignoble de Château Bélair. Rapport de stage viticulture. ENITA. Bordeaux, 51 p.

Vouvé M. (1990) – Eglise monolithe de Saint-Emilion. Etude du contexte géologique et des désordres géomécaniques. Centre d'Hydrogéologie. Université de Bordeaux I, CH 90/20, 206 p., 3 tomes.

Liste des figures

- Figure 1** Localisation de la zone d'étude, au sud-ouest du bourg de Saint-Emilion. Positionnement sur fond topographique extrait de la carte IGN 1636-E, agrandie à l'échelle 1/10 000
- Figure 2** Extension de la zone d'étude et principaux repères de surface. Positionnement sur fond cadastral (sections AO et AP) à l'échelle 1/2 000
- Figure 3** Figures de stratification entrecroisée sur un pilier dans le chai de Château-Belair (niveau intermédiaire, cavité 3.4)
- Figure 4** Niveau de calcaire friable, à grains grossiers et faible degré de cimentation, au toit du niveau superficiel de la carrière, en bordure nord de l'effondrement de 1997 (niveau superficiel, cavité 1.6, et amorce du niveau supérieur, cavité 2.2, séparée de la précédente par une planche intermédiaire peu épaisse)
- Figure 5** Niveau argileux, d'épaisseur 5 à 10 cm, situé à 30 cm au dessus du toit de la carrière (niveau superficiel, cavité 1.6, au nord-est de l'effondrement de 1997) et ayant provoqué une chute (ancienne) du premier banc de toit
- Figure 6** Niveau d'argile grise, au dessus du toit de la carrière (cavité 2.2, niveau supérieur) en limite de zone effondrée (bordure sud-ouest de l'effondrement de 1997)
- Figure 7** Poche karstique stratiforme au dessus du toit du niveau superficiel de la carrière, en bordure est de l'effondrement de 1997 (niveau supérieur, cavité 2.2, et amorce du niveau superficiel en mezzanine, cavité 1.6)
- Figure 8** Poche karstique stratiforme laissée en place dans un pilier, au niveau supérieur du chai de Château-Belair (niveau supérieur, au sud-ouest de la cavité 2.2)
- Figure 9** Cartes piézométriques de la nappe superficielle sous le bourg de Saint-Emilion (mesures communiquées par Vouvé). Report sur fond cadastral à l'échelle 1/5 000
- Figure 10** Esquisse piézométrique de la nappe superficielle dans la zone d'étude, en période de hautes eaux (mesures effectuées le 12 mars 1999). Report sur fond cadastral à l'échelle 1/3 000
- Figure 11** Etat actuel de la base de données des carrières souterraines de Gironde dans la zone d'étude. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/2 000

- Figure 12** Limites d'extension approximatives du premier niveau (superficiel) de carrières souterraines dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/2 000
- Figure 13** Limites d'extension approximatives du second niveau (supérieur) de carrières souterraines dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/2 000
- Figure 14** Limites d'extension approximatives du troisième niveau (intermédiaire) de carrières souterraines dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/2 000
- Figure 15** Limites d'extension approximatives du quatrième niveau (inférieur) de carrières souterraines dans le secteur sud-ouest de Saint-Emilion. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/2 000
- Figure 16** Délimitation approximative des parties sous-cavées visitables (tous niveaux confondus) dans la zone d'étude au sud-ouest de Saint-Emilion. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/2 000
- Figure 17** Emplacement des coupes en travers montrant la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines dans la zone d'étude au sud-ouest de Saint-Emilion. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/3 000
- Figure 18** Coupe verticale A-A' est-ouest, le long du chemin de la Pège, montrant la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines. Echelle horizontale 1/1 000 ; échelle verticale 1/200
- Figure 19** Coupe verticale B-B' est-ouest, sous la Madeleine, montrant la disposition verticale des différents niveaux de carrières souterraines. Echelle horizontale 1/1 000 ; échelle verticale 1/200
- Figure 20** Coupe verticale C-C' nord-sud, le long des Douves, montrant la disposition verticale des niveaux de carrières souterraines. Echelle horizontale 1/1 000 ; échelle verticale 1/200
- Figure 21** Localisation des effondrements survenus dans la zone d'étude et ayant provoqué des désordres en surface. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/3 000
- Figure 22** Effondrement apparu en surface dans le vignoble de Belair (parcelle AO 70) en février 1994. Vue prise peu après l'effondrement
- Figure 23** Effondrement apparu en surface dans le vignoble de Belair en février 1994. Vue prise en septembre 1998.
- Figure 24** Toit du niveau supérieur affecté d'une fracturation karstique dense, à proximité immédiate de l'effondrement de 1994

- Figure 25** Chute de toit importante, en bordure de l'effondrement de 1994 (vue prise au niveau inférieur)
- Figure 26** Superposition des levés topographiques des niveaux supérieur et inférieur sous les chemins de la Pège et de la Madeleine, montrant la disposition aléatoire des piliers d'un niveau à l'autre. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/3 000
- Figure 27** Fontis apparu en surface dans les vignes de Château Canon, en bordure du chemin de la Pège, lors de l'effondrement de 1995
- Figure 28** Amorce de formation d'un fontis au toit du niveau supérieur, à proximité du carrefour entre le chemin de la Pège et la VC n° 10. Présence de terre végétale et de racines au toit de la carrière
- Figure 29** Pilier détaché, dans une zone où le toit de la carrière ne présente pas de trace d'instabilité (niveau supérieur de carrière, sous le chemin de la Pège)
- Figure 30** Fissure mécanique diagonale d'un bord ferme évoquant un mécanisme de rupture par cisaillement et appel au vide (niveau superficiel, sous le chemin de la Pège)
- Figure 31** Pilier éclaté sous l'effet d'une surcharge verticale (niveau inférieur, sous le chemin de la Pège)
- Figure 32** Pilier éclaté et descente du toit de la carrière sous l'effet d'une surcharge verticale (niveau inférieur, sous le chemin de la Pège)
- Figure 33** Effondrement survenu en 1997 dans les vignes de Belair : aspect du bloc effondré, ayant entraîné la coupure d'un chemin carrossable
- Figure 34** Effondrement survenu en 1997 dans les vignes de Belair : aspect de la limite d'effondrement (côté nord)
- Figure 35** Effondrement survenu en 1997 dans les vignes de Belair : aspect des piliers du niveau supérieur situé en bordure de l'effondrement (côté nord-ouest)
- Figure 36** Bordure de la zone foudroyée sous la parcelle AO 90 (Château Ausone) au niveau supérieur
- Figure 37** Poinçonnement de la planche intermédiaire par un pilier du niveau supérieur, en bordure de la zone effondrée à l'est de la parcelle AO 72 (vue prise au niveau intermédiaire)
- Figure 38** Descente d'un bloc du toit profondément fracturé sous la zone effondrée à l'est de la parcelle AO 72 (vue prise au niveau inférieur)
- Figure 39** Emplacement des parties de carrières pour lesquelles a été calculée la valeur du taux de défrètement. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/3 000
- Figure 40** Carte de l'aléa associé à la présence de carrières souterraines abandonnées dans la zone d'étude. Positionnement sur fond cadastral à l'échelle 1/3 000

Liste des tableaux

- Tableau 1** Caractéristiques physiques du calcaire exploité en carrières souterraines à Saint-Emilion. Synthèse des données bibliographiques
- Tableau 2** Caractéristiques mécaniques du calcaire exploité en carrières souterraines à Saint-Emilion. Synthèse des données bibliographiques
- Tableau 3** Niveau 1 (superficiel) des carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion. Principales caractéristiques géométriques des cavités visitées
- Tableau 4** Niveau 2 (supérieur) des carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion. Principales caractéristiques géométriques des cavités visitées
- Tableau 5** Niveau 3 (intermédiaire) des carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion. Principales caractéristiques géométriques des cavités visitées
- Tableau 6** Niveau 4 (inférieur) des carrières souterraines au sud-ouest de Saint-Emilion. Principales caractéristiques géométriques des cavités visitées
- Tableau 7** Estimation des valeurs maximales de contraintes en compression régnant dans les piliers de certaines carrières souterraines de la zone d'étude

Liste des annexes

- Annexe 1** Principaux résultats de la campagne de levés topographiques confiée au cabinet de géomètres experts Deschamps et réalisés en décembre 1998
- Annexe 2** Principaux résultats de la campagne de levés topographiques confiée au cabinet de géomètres experts Boyé et réalisés en juin 1999
- Annexe 3** Caractéristiques des puits mesurés pour l'établissement de l'esquisse piézométrique (date de mesure : 12 mars 1999)
- Annexe 4** Données géotechniques concernant le Calcaire à astéries exploité en carrières souterraines à Saint-Emilion
- Annexe 5** Inventaire des accès aux carrières souterraines de Saint-Emilion dans la zone d'étude

Annexe 1

Principaux résultats de la campagne de levés topographiques
confiée au cabinet de géomètres experts Deschamps
et réalisée en décembre 1998

- Annexe 1.1** Extraits du cahier des charges de la campagne de mesures
- Annexe 1.2** Plan de localisation des points de mesure. Positionnement sur fond cadastral
- Annexe 1.3** Extraits du rapport de fin de campagne
- Annexe 1.4** Exemple de fiche signalétique de puits
- Annexe 1.5** Exemple de fiche signalétique d'entrée de carrière

**Première campagne de
levers topographiques sommaires
des carrières souterraines
au sud-ouest de Saint-Emilion**

Extraits du cahier des charges

1- Contexte

La DRIRE Aquitaine, la Sous-Préfecture de Libourne et la commune de Saint-Emilion ont confié au BRGM (Service Géologique Régional Aquitaine) une étude concernant la cartographie informative de l'aléa lié aux carrières souterraines dans la zone extra-muros de Saint-Emilion (Gironde). Dans un premier temps, la zone étudiée couvre une surface approximative de 25 hectares, au sud-ouest de la ville (voir plan de situation joint en annexe). Le Service des Carrières (Conseil Général de Gironde) est partie prenante de cette étude et y contribue en mettant à disposition du BRGM sa bonne connaissance du terrain et les résultats d'études antérieures réalisées dans le secteur.

2- Objectif des levers topographiques

Suite aux observations effectuées sur le terrain et après dépouillement des documents existants, il est apparu nécessaire de compléter les données disponibles par des levers topographiques supplémentaires dans la zone d'étude. L'objectif de ces travaux n'est pas d'aboutir à une délimitation exhaustive des zones excavées mais de fournir quelques repères altimétriques et planimétriques qui permettront de caler les plans topographiques existants (non rattachés à la cote NGF) et les observations de terrain (délimitation approximative des limites d'extension de galeries, emplacement et cotes des entrées principales, cotes piézométriques de la nappe). Ces levers devront également donner une idée plus précise de la topographie des terrains en surface dans la zone d'étude, en vue notamment de tracer des profils en travers (trois coupes prévues).

3- Résultats attendus

Les résultats attendus de cette campagne de levés topographiques sont les suivants :

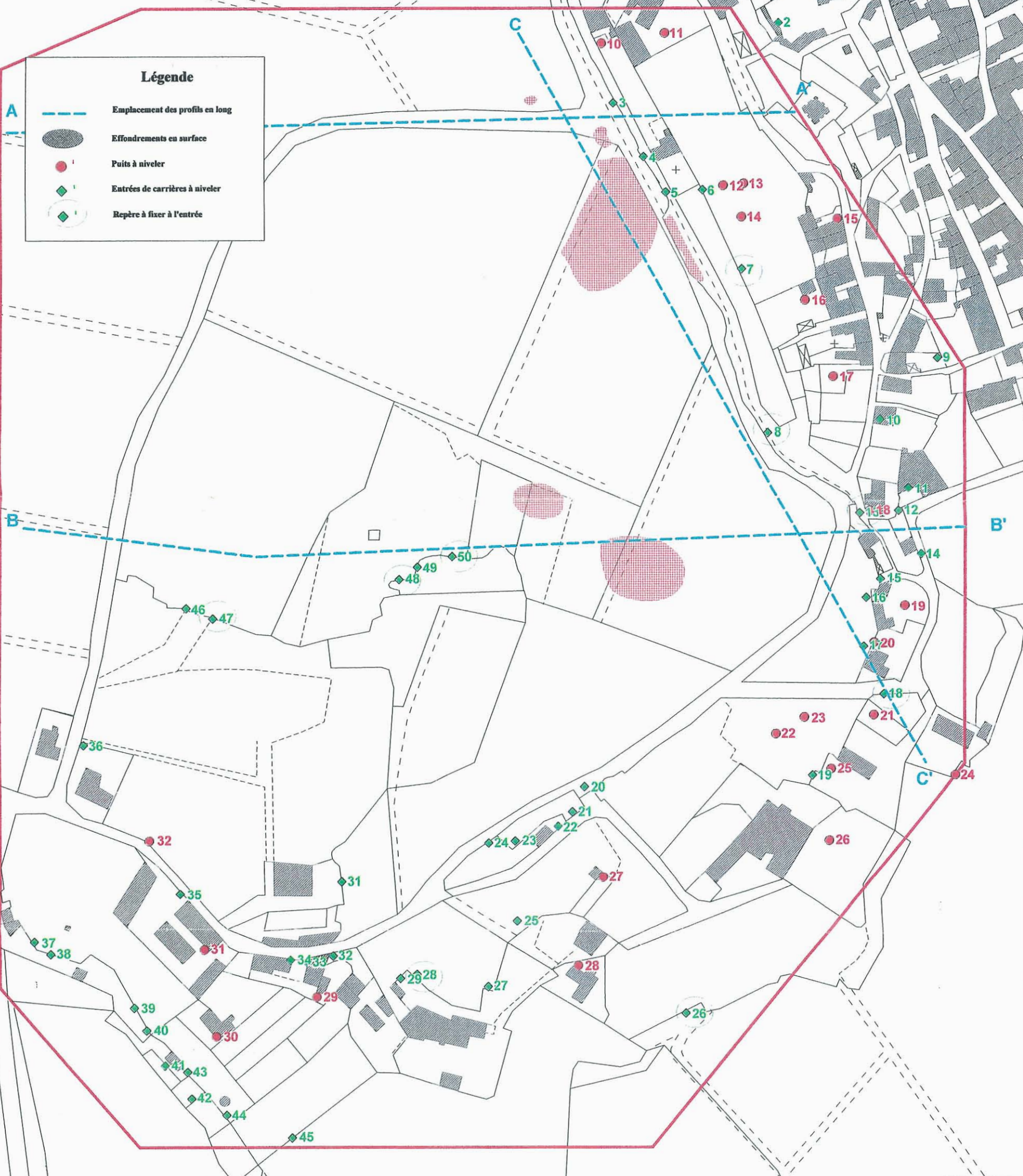
- Nivellement des entrées principales de carrières (50 entrées ont été sélectionnées). Le nivellement sera rattaché au système NGF (en cas d'utilisation du repère IGN F'-E-K3-40, situé à l'angle de la RD 243 et de la RD 122, près de l'abribus, un contrôle préalable de sa cote sera nécessaire). La position des entrées à niveler est indiquée sur un extrait de plan cadastral à l'échelle 1/2 000, et leurs coordonnées Lambert (mesurées après positionnement sur plan cadastral) sont fournies dans le tableau en annexe. Pour chacune des entrées sera indiquée la cote du mur et du toit de la carrière au niveau de l'entrée et à quelques mètres à l'intérieur de la galerie (cote moyenne du sol de la carrière à proximité de l'entrée), ainsi que la cote du terrain naturel en surface au dessus de l'entrée. Dans la mesure du possible, les coordonnées X, Y et Z mesurées sur le terrain seront fournies dans un tableau Excel. Deux repères de nivellement au sol seront fixés de manière durable à proximité de certaines entrées (dix d'entre elles, qui sont précisées sur le plan et dans le tableau), afin de permettre de rattacher des cheminements qui seront réalisés par la suite dans certaines galeries. Un repère sera fixé près de l'entrée, à l'extérieur de la carrière. Le deuxième sera fixé également à l'extérieur de la carrière mais assez loin de l'entrée afin de permettre la visée arrière lors des cheminements en galeries ;

- Nivellement des puits d'eau recensés dans la zone. Au total, 32 puits ont été repérés dans la zone et leurs caractéristiques sont indiquées dans le tableau en annexe, sachant que huit d'entre eux risquent de ne pas être accessibles. Pour chaque puits, le repère utilisé (terrain naturel ou margelle) sera indiqué avec précision afin de permettre des mesures ultérieures du niveau de la nappe. La position des puits à niveler est indiquée sur l'extrait de plan cadastral au 1/2 000, et leurs coordonnées Lambert sont fournies dans le tableau joint en annexe. Dans la mesure du possible, les coordonnées X, Y et Z mesurées sur le terrain seront fournies dans un tableau Excel ;

- Rattachement NGF des plans existants (cave Querre, cave Bertolussi et caves Château Ausonne). L'emplacement approximatif des plans à rattacher est indiqué sur le plan en annexe à l'échelle 1/2 000. Un tirage des plans sera fourni par le Bureau des Carrières ;

- Réalisation de trois profils en long avec indication des cotes NGF du terrain naturel (mesurées en surface, sans préjuger de l'existence ou non de niveaux sous-cavés). La longueur totale de ces profils peut être estimée à environ 1 200 ml. Leur position est matérialisée sur l'extrait de plan cadastral à l'échelle 1/2 000 joint en annexe. Les points caractéristiques (routes, chemins, limites de parcelles, maisons) rencontrés sur le tracé des profils ou à proximité immédiate seront indiqués sur les profils. Les zones d'effondrement visibles en surface et indiquées sur le plan en annexe feront l'objet d'un levé de détail. Le report sur plan se fera à une échelle adaptée, avec indication des distances cumulées pour chaque point nivellé.

- Report sur plan au 1/500 de l'ensemble des cheminements réalisés en surface (avec indication de l'ensemble des cotes NGF mesurées le long des cheminements). Les profils en long seront positionnés sur ce plan, ainsi que les points caractéristiques (routes, chemins, clôtures, maisons) rencontrés sur le tracé des cheminements ou à proximité immédiate. Les coordonnées X, Y et Z mesurées sur le terrain seront fournies dans un tableau Excel pour chaque point relevé.



RATTACHEMENT GPS

A. MATERIEL ET MODES OPERATOIRES

Pour effectuer les rattachements et la densification en LambertIII, le système GPS RTK LEICA a été utilisé. Ce système bi-fréquence permet de déterminer des points en XYZ avec une précision centimétrique en prenant le soin d'élaborer un canevas de base qui servira tout au long des levés.

Ce canevas est rattaché en LambertIII par deux points géodésiques connus :

Références	X	Y	Z
IGN XVI-36 N°34	402140.60	292613.26	77.80
IGN XVI-36 N°37	404269.07	290508.06	107.90

Trois sessions différentes ont été nécessaires pour assurer l'homogénéité du canevas. Les delta observés sur les références IGN sont de l'ordre de 10cm en XY et de 3cm en Z. Le rattachement en NGF a été plus difficile, car le repère F'-E-K3-40 ayant bougé, il a fallu le redéterminer. La côte définitive trouvée étant en accord avec les points géodésique de la commune de St-Emillion.

Session N°1

Référence : IGN XVI-36 N°37

Références	X	Y	Z
9801L	402935.221	291031.388	83.584
9802L	403113.050	290706.016	74.458
9803L	402968.913	290663.904	82.948
IGN F'-E-K3-40	403191.530	291441.970	76.130

Session N°2

Référence : 9803L

Références	X	Y	Z
9801L	402935.247	291031.369	83.613
9802L	403113.039	290706.020	74.429
IGN XVI-36 N°34	402140.553	291613.169	77.831
IGN F'-E-K3-40	403191.530	291441.980	76.140

Session N°3

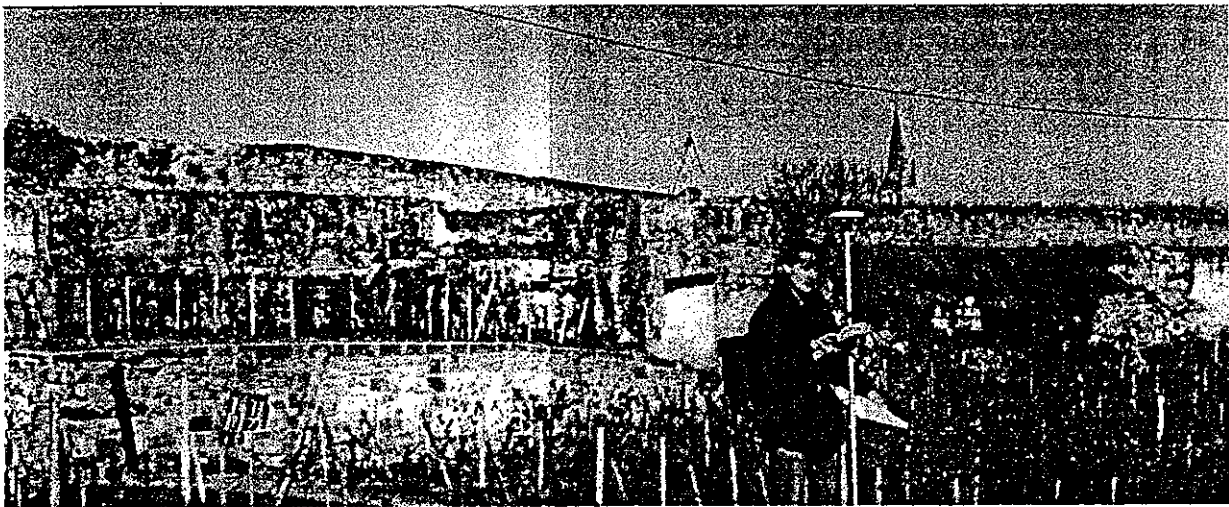
Référence : 9803L

Références	X	Y	Z
9804L	402658.36	290547.29	62.82
RMADELEINE	402691.15	290323.75	40.25
IGN XVI-36 N°34	402140.553	291613.169	77.831

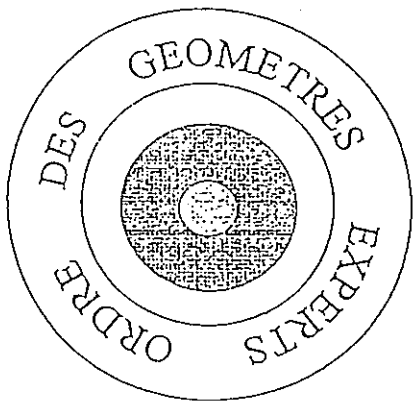
B. COORDONNEES DEFINITIVES UTILISEES POUR LES LEVERS

Références	X	Y	Z
IGN XVI-36 N°34	402140.60	292613.26	77.80
IGN XVI-36 N°37	404269.07	290508.06	107.90
9801L	402935.234	291031.379	83.599
9802L	403113.045	290706.018	74.444
9803L	402968.913	290663.904	82.948
9804L	402658.36	290547.29	62.82
IGN F'-E-K3-40	403191.530	291441.980	76.135

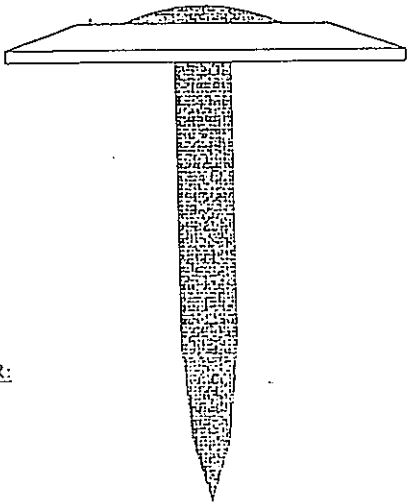
Voir annexe N°1 pour le listing brut terrain.



Station de référence LEICA et mobile RTK (vignes château Ausonne).



CLOU LONGUEUR:
5 CM
7.5 CM
10 CM



RONDELLE
DIAMETRE 6.2 CM
EPAISSEUR 0.5 CM
MATIERE: P E H D

Repère utilisé pour le canevas principal.

NIVELLEMENT DES PUITS

Sur les 32 puits recensés dans la zone d'étude, 27 puits ont été nivelés. En effet, les puits numérotés de 1 à 5 n'étaient pas accessibles, ou non visibles.

Les 27 puits concernés sont détaillés par fiche, avec indication des points pris. Le listing des coordonnées XYZ est l'annexe 2.

NIVELLEMENT DES ENTREES PRINCIPALES

A. NIVELLEMENT DES ENTREES

Le nivellement des entrées principales a été effectué par méthode GPS et traditionnelle. Le canevas de base servant de référence et de fermeture.

Le toit des carrières, quand l'entrée était accessible, a été mesuré par méthode laser (DISTO*basic* LEICA). Chaque entrée est détaillée par fiche, avec indication des points levés et remarques sur l'aspect générale de l'entrée.

Le listing complet des coordonnées XYZ est l'annexe 4.

- Les entrées 30, 41 et 42 n'étaient pas visibles sur le terrain.
- Les entrées 48, 49 et 50 n'ont pas été nivelées, car inaccessible.



Entrée N°26.

B. IMPLANTATION DES STATIONS DE REFERENCE

L'implantation des stations de références a été effectuée par méthode GPS, en prenant référence sur le canevas principal.

Les points implantés sont matérialisés par des spits ou des piquets bois suivant le cas. Les deux références IGN, à savoir l'église de St-Emilion (N°223) et le Château d'eau de St-Laurent des Combes (N°37) servent en général de deuxième référence angulaire.

Le listing complet des coordonnées XYZ est l'annexe 3.

Des croquis de repérage sont fournis dans le recueil des stations.

REALISATION DE 3 PROFILS EN LONG

Les profils AA', BB' et CC' ont été levés par modes GPS et traditionnelle et basés sur le canevas principal. Le détail de ces profils est au 1/1000^{ème} en plan et 1/100^{ème} pour le Z.

Le périmètre des zones effondrées a été levé, ainsi que des points de TN supplémentaires. Un plan d'ensemble au 1/1000^{ème} est fourni.

Le listing complet des coordonnées XYZ est l'annexe N°5.



Zone d'effondrement sur profil BB'.

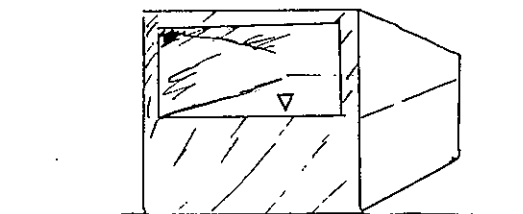
FICHE SIGNALETIQUE

Puit 17

Altitude A : 77.49

Altitude B :

Remarques :



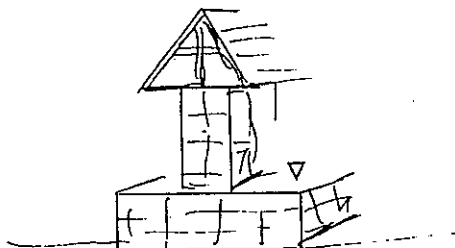
FICHE SIGNALETIQUE

Puit 18

Altitude A : 73.84

Altitude B :

Remarques :

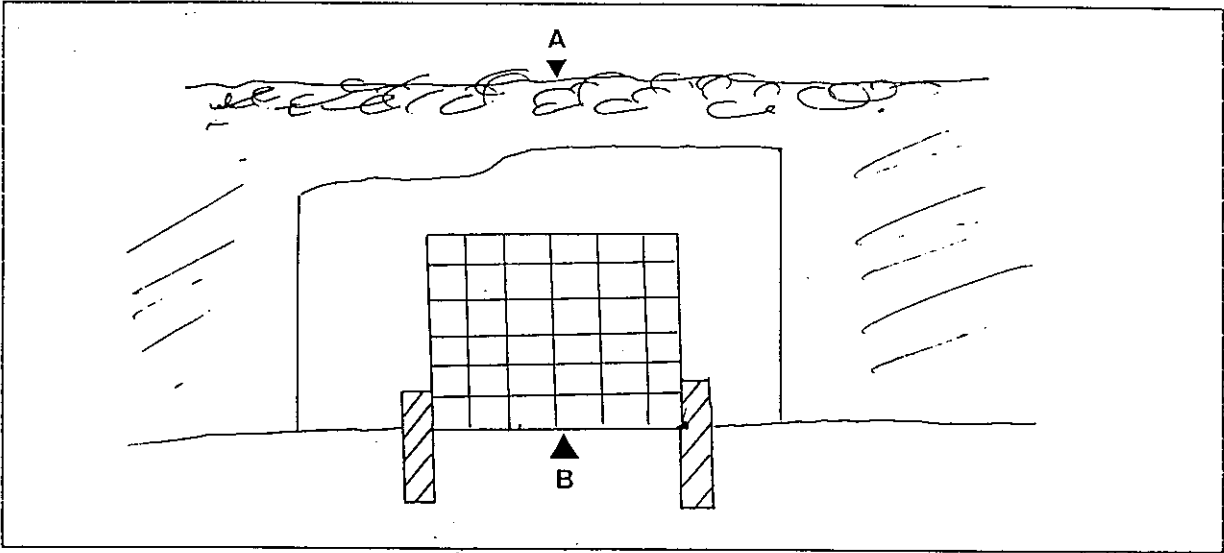


Altitude A : 82.02

Cote du mur:

Altitude B : 74,21

Cote du toit: + 1,90 m



Remarques :

Sol plat-

Références

Type de repère:

N°	X	Y	Z
E1	402991.66	291132.30	74.83
R1	402961.00	291064.67	80.12

Visée sur point IGN : /

Annexe 2

Principaux résultats de la campagne de levés topographiques
confiée au cabinet de géomètres experts Boyé et réalisée en
juin 1999

- Annexe 2.1** Extraits du cahier des charges de la campagne de mesures
- Annexe 2.2** Tableau descriptif des repères disponibles et des points particuliers à lever.
Annexe au cahier des charges
- Annexe 2.3** Plan de localisation des levés topographiques. Positionnement sur fond
cadastral. Annexe au cahier des charges
- Annexe 2.4** Plan synthétique montrant la localisation des cheminements effectués et des
puits de communication repérés. Positionnement sur fond cadastral

**Seconde campagne
de levés topographiques sommaires
des carrières souterraines
sous le vignoble de Belair à Saint-Emilion**

Extraits du cahier des charges

1- Contexte

La DRIRE Aquitaine, la Sous-Préfecture de Libourne et la commune de Saint-Emilion ont confié au BRGM (Service Géologique Régional Aquitaine) une étude concernant la cartographie informative de l'aléa lié aux carrières souterraines dans la zone extra-muros de Saint-Emilion (Gironde). Le Service des Carrières (Conseil Général de Gironde) est partie prenante de cette étude et y contribue en mettant à disposition du BRGM sa bonne connaissance du terrain et les résultats d'études antérieures réalisées dans le secteur.

Dans un premier temps, la zone étudiée couvre une surface approximative de 25 hectares centrée sur le vignoble de Bélair, au sud-ouest de la ville. Des levés topographiques existent pour les carrières situées en périphérie de la zone d'étude mais font défaut pour le secteur central situé sous le vignoble. L'objectif des présents travaux de levé topographiques est donc de réaliser quelques cheminements dans cette zone (où ont été reconnus 3 à 4 niveaux superposés de carrières) afin de mettre en place des points de repères qui permettront de préciser la disposition et l'extension des niveaux de carrières encore visitables. Ces repères pourront faciliter la réalisation de relevés topographiques ultérieurs s'il s'avère nécessaire de procéder à un levé exhaustif de la zone.

2- Objectif des levés topographiques

Les observations effectuées sur le terrain ont permis de délimiter grossièrement les limites d'extension des différents niveaux de carrières et de repérer plusieurs puits permettant la communication entre étages superposés. Par ailleurs, des levés topographiques antérieurs ont permis de déterminer les coordonnées X, Y (Lambert) et Z (NGF) de certains points de repère (indiquées par un point rouge sur le plan joint en annexe) correspondant généralement à des entrées de carrières. Enfin, trois profils du terrain naturel (TN) ont été levés et implantés en surface. Ces profils, notés A-A', B-B' et C-C' sur le plan, sont destinés à établir des coupes verticales schématisées permettant de visualiser la position des différents niveaux sous-cavés par rapport au TN. Une partie du profil A-A' (à l'est du « point A ») a déjà été tracée.

L'objectif des présents levés est donc de compléter les données existantes, à savoir : déterminer la position de certains points de repère supplémentaires, implanter en carrière un canevas de repères permettant des levés de détail ultérieurs et recueillir les éléments nécessaires à l'établissement des coupes schématiques en travers.

3- Résultats attendus

Les résultats attendus de cette campagne de levés topographiques sont les suivants :

- Implantation et nivellement de cheminements en carrière, selon le schéma présenté en annexe. Des stations seront matérialisées de manière durable sur le terrain à intervalles réguliers le long de ces cheminements. Les cotes du mur (sol) et du toit de la galerie seront déterminées à intervalles réguliers, le nivellement étant rattaché au système NGF (à partir des points de repère connus, dont les coordonnées sont indiquées en annexe et pour trois desquels il existe un repérage sur le terrain, décrit par une fiche signalétique). Les coordonnées X, Y et Z de tous les points mesurés sur le terrain seront fournies dans un tableau Excel. Les cheminements prévus concernent trois niveaux de carrière. Ils totalisent une longueur estimée approximativement à 1000 m pour le niveau supérieur, 350 m pour le niveau intermédiaire et 600 m pour le niveau inférieur ;

- Détermination des coordonnées Lambert X,Y de certains points particuliers qui seront matérialisés de manière durable sur le terrain. Ces points correspondent aux puits de communication numérotés de 1 à 7 sur le plan en annexe, et aux extrémités de galeries (fronts de taille ou limites d'effondrement) dessinées sur le plan. Pour chacun des puits (dont une rapide description figure en annexe), il sera procédé au nivellement NGF des toits et murs des différents niveaux de carrière mis en communication par le puits. Lorsque le puits donne accès à la nappe, un repère durable sera implanté pour permettre des mesures ultérieures du niveau piézométrique. Les coordonnées X, Y et Z mesurées sur le terrain seront fournies dans un tableau Excel ;

- Report sur plan au 1/500 de l'ensemble des cheminements réalisés avec indication des cotes NGF pour chacun des points de mesure. Les coordonnées X, Y et Z mesurées sur le terrain seront fournies dans un tableau Excel pour chaque point relevé.

Levers topographiques sommaire des carrières souterraines sous le vignoble de Belair à Saint-Emilion

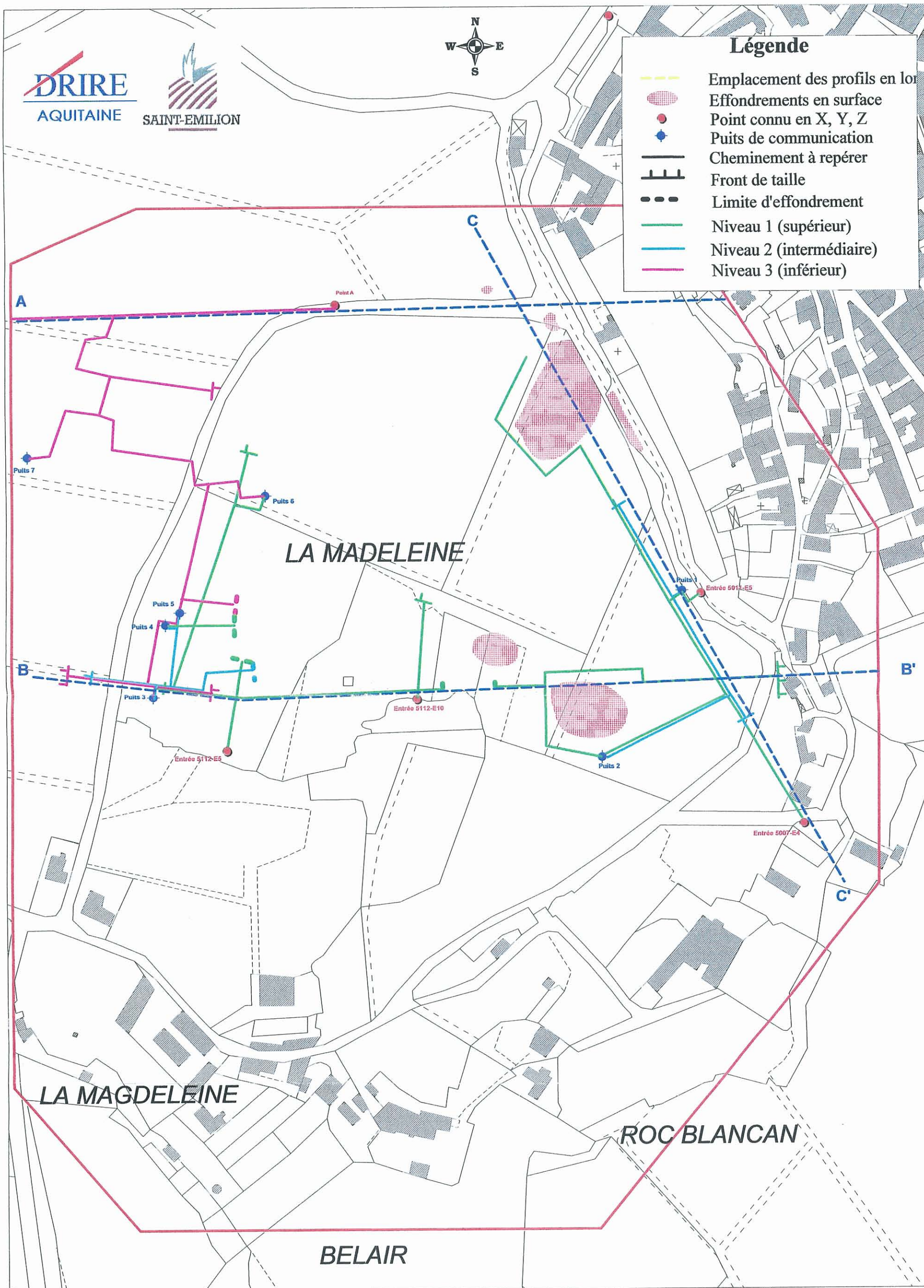
Annexe au cahier des charges

1- Coordonnées des points de référence déjà connus

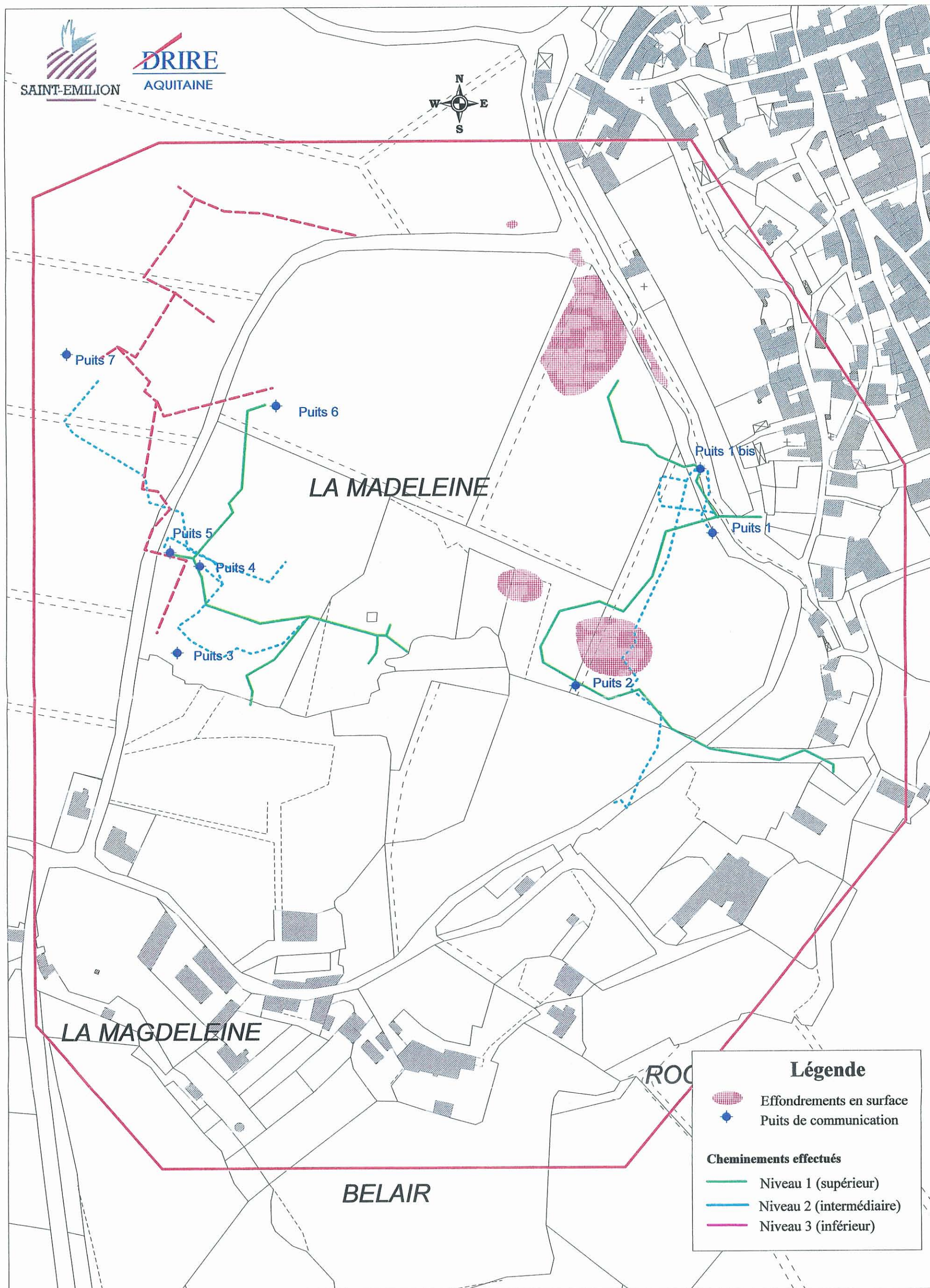
Désignation	Type	X Lambert (m)	Y Lambert (m)	Z NGF (m)	Etat	Niv de carr	Fiche signalétique	Observations
Point A	Repère en carrière	402 837,70	290 978,40	66,00		3	non	Point matérialisé à la peinture (levé Canor)
5007-E4	Ouverture dans falaise	403 093,19	290 694,89	71,96	Libre	1/2	oui (entrée 18)	Entrée ouverte dans propriété privée en pied de falaise
5010-E13	Portail	402 988,19	291 133,03	74,21	Fermé	3	oui (entrée 1)	Portail fermé par un cadenas dans parking des Douves (Logis de Malet)
5011-E5	Ouverture dans falaise	403 039,10	290 822,49	73,85	Fermé	1	oui (entrée 8)	Accès depuis rue des Douves, fermé par grillage treillis soudé
5112-E5	Ouverture dans falaise	402 777,47	290 738,19	77,61	Libre	1	oui (entrées 47)	Accès ouvert, au bord du vignoble, sous un gros surplomb fissuré
5112-E10	Ouverture dans falaise	402 882,00	290 766,00		Effondré	1	non	Accès partiellement effondré, dans une zone de dépôt d'ordures

2- Descriptif sommaire des puits de communication

Désignation	Niveaux de carrière concernés	Accès à la nappe	Descriptif
Puits 1	2 et 3	oui	Puits muni de deux tuyaux le long de la paroi
Puits 2	1 et 2	?	Puits couvert d'une tôle à l'étage supérieur
Puits 3	2 et 3	non	Puits 1,50 x 0,40 m. Passage possible du niveau 3 au niveau 2 (en opposition)
Puits 4	1 et 2	non	Puits carré de 1,50 m de côté, recouvert d'un toit en briques au niveau 1
Puits 5	1 et 2	non	Puits muni d'une margelle au niveau 1
Puits 6	1 et 3	non	Puits de diamètre 1,80 m. Deux madriers en travers du puits au niveau 1. Marches taillées en paroi
Puits 7	2 et 3	non	Moellon posé au fond du puits, sur cône d'éboulis



Annexe 2.3 - Plan de localisation de la seconde campagne de levés topographiques
Annexe au cahier des charges - Echelle 1 / 2 000



Légende

-  Effondrements en surface
-  Puits de communication

Cheminements effectués

-  Niveau 1 (supérieur)
-  Niveau 2 (intermédiaire)
-  Niveau 3 (inférieur)

Annexe 3

Caractéristiques des puits mesurés
pour l'établissement de l'esquisse piézométrique
(date de mesure : 12 mars 1999)

N° puits sur plan	Levé topo	N° accès	X Lambert (m)	Y Lambert (m)	Z (m)	Diam. (m)	Hauteur margelle (m)	Prof. (m)	Nb Piezo NGT (m)	Date mesure NP	Etat	Observations - Descriptif
1		HZ	403 059	291 155								Puits désormais inaccessible
2		HZ	403 007	291 117							Bouché	Puits actuellement bouché en surface (sous pelouse ancienne tonnellerie)
3		HZ	403 002	291 100		0,50	0,80				Ouvert	Ouverture de type soupirail en bordure de rue. Ne donne pas accès à la nappe
4		HZ	403 005	291 097	76,92	1,30	0,00		60,50	12/3/99	Fermé	Puits d'eau dans une maison en travaux, au sous-sol, dans un angle
5	x	HZ	402 980	291 090	71,78		0,60					Puits d'eau chez M. Villéga
6	x	HZ	402 977	291 084	71,78	1,50	0,60	11,63	61,03	12/3/99	Fermé	Accès par escaliers dans cave mairie, en bordure des douves = puits F Vouvé
7	x	HZ	402 974	291 064	79,42	0,05	0,50				Equipé	Fontaine au coin de la Porte St Martin
8	x	HZ	402 992	291 053	78,47	1,00	0,53	19,36	60,40	12/3/99	Ouvert	Puits sur terre-plein Porte St-Martin avec margelle = puits 2 Vouvé
9	x	24	402 947	291 061	81,25						Fermé	Sondage (peu visible, dans massif de fleurs)
10	x	23	402 954	291 015	79,22	0,40	1,10	19,88	61,57	12/3/99	Fermé	Puits chez Mme Bony. Pots de fleurs sur plaque béton = puits 20 Vouvé
11	x	48	402 986	291 015	80,29						Bouché	Puits d'eau équipé d'une ancienne pompe manuelle, bouché en surface
12	x	61	403 016	290 946	81,25	1,00	0,00	10,00	sec	12/3/99	Grillagé	Puits d'aération ouvert, dans le jardin du Couvent, effondré en tête
13	x	59	403 030	290 950	81,20	0,40	0,60		sec	12/3/99	Ouvert	Puits d'aération busé en tête, dans les vignes du Couvent
14	x	62	403 029	290 934	80,20	1,20	0,00	10,00	sec	12/3/99	Grillagé	Puits d'aération ouvert dans un enclôt grillagé, au bord des vignes du Couvent
15	x	7	403 071	290 930	76,85	1,00	0,80				Bouché	Puits bouché par une dalle en béton
16	x	60	403 056	290 891	79,59	1,20	1,50	17,00	sec	12/3/99	Ouvert	Puits avec toit en voûte, le long du bâtiment (puits Gracia)
17	x	56	403 069	290 856	77,49	1,00	0,80		sec	12/3/99	Ouvert	Puits d'aération dans jardin M. Poujoux, donnant accès à 1 carrière (échelle)
18	x	9	403 087	290 786	73,84	0,80	0,55	17,00	62,98	12/3/99	Fermé	Puits chez M. Veyssière. Restauré et utilisé épisodiquement
19	x	86	403 104	290 741	73,95	0,50	0,80		62,75	26/3/99	Fermé	Puits chez Mme Bertolussi. Support pour pots de fleurs
20	x	10	403 088	290 725	72,96	0,90	0,65		63,03	26/3/99	Ouvert	Puits chez M. Deminière, sous un aplomb rocheux
21	x	HC	403 088	290 690	72,80	1,00	1,20	10,40	sec	12/3/99	Ouvert	Puits à sec sur pelouse près de la falaise
22	x	91	403 043	290 682	79,93						Fermé	Puits d'aération avec grande verrière dans les vignes
23	x	92	403 056	290 690	79,32						Fermé	Puits dans les vignes Château Ausonne
24	x	HC	403 135	290 666	67,50						Equipé	Puits d'eau équipé d'une ancienne pompe manuelle, bouché en surface
25	x	HC	403 072	290 664	72,51	1,20	0,00		63,41	12/3/99	Equipé	Puits équipé d'une pompe manuelle + trappe, dans cour Château Ausonne
26	x	HC	403 068	290 634	72,44						Equipé	Puits équipé d'une pompe manuelle, devant Château Ausonne
27	x	94	402 955	290 610	79,56	1,20	5,00		63,11	12/3/99	Equipé	Puits équipé d'une éolienne dans les vignes
28	x	95	402 947	290 567	74,08						Bouché	Puits avec margelle et toit voûté, fermé par une planche inamovible
29	x	126	402 834	290 543	74,61						Bouché	Puits chez M. Martin, actuellement bouché en surface
30	x	125	402 765	290 530	73,84	1,00	1,10		63,04	12/3/99	Ouvert	Puits avec margelle chez M. Lauret dans la cour, devant la maison
31	x	127	402 760	290 575	74,47	1,00	0,70		64,27	12/3/99	Grillagé	Puits avec margelle dans Château SCI Madeleine, entouré d'une grille
32	x	140	402 736	290 627	76,98	1,00	0,00	8,87	sec	12/3/99	Grillagé	Puits fermé par une grille. Derrière le mur en bord de route
33		?	403 070	290 869	76,20	0,50	0,00		61,64	12/3/99	Fermé	Puits équipé d'un tube PVC dans le jardin de M. Carille
34		8	403 094	290 872		0,05	0,80				Equipé	Fontaine au croisement de la Porte St-Martin et de la rue du Couvent
35		HZ	403 030	291 155	74,65		0,00	14,53			Bouché	Piézographe Carrière du Musée = puits A Vouvé
36		HZ	403 075	291 100	60,19	0,25	0,00	1,94	58,67	12/3/99	Fermé	Piézographe des Catacombes (tube PVC) = puits B Vouvé
37		HC	403 070	291 000	62,61	1,00	0,00	4,35	60,67	12/3/99	Grillagé	Ancien silo à grain au pied de la Tour du Roy = puits 12 Vouvé
38		HZ	403 182	291 266	81,74	1,00	1,20	19,06	64,27	12/3/99	Grillagé	Puits dans l'angle de la cour de la mairie = puits 9 Vouvé
39		HZ	403 177	291 260	81,82	1,00	0,20	20,10	64,06	12/3/99	Equipé	Puits devant la mairie, équipé d'une pompe manuelle = puits 9 bis Vouvé
40	x	43	403 070	290 976	63,76				58,87	3/2/99	Ouvert	Puits dans la cave Mons-Maleret (étude ANTEA Tour du Roy)
41		22	402 835	290 975	66,00	1,50	0,00	2,00	64,50	26/3/99	Ouvert	Trou d'eau creusé dans sol galerie niveau 3 sous le chemin de la Pège

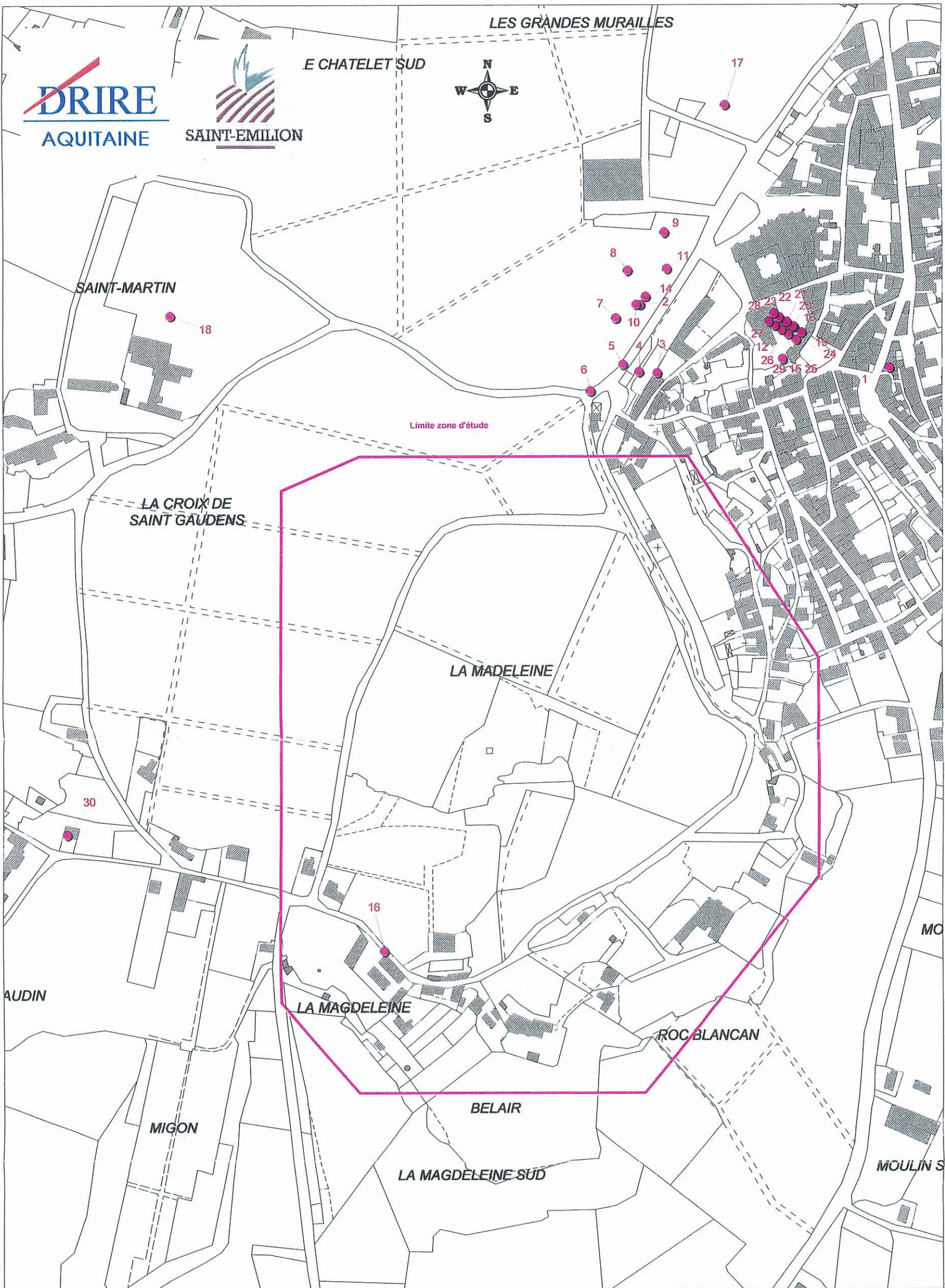
Annexe 4

Données géotechniques concernant le Calcaire à astéries exploité en carrières souterraines à Saint-Emilion

- Annexe 4.1** Principales caractéristiques des prélèvements effectués en carrières souterraines à Saint-Emilion, en vue d'essais géotechniques de laboratoire : localisation des prélèvements et nature des essais réalisés (données bibliographiques)
- Annexe 4.2** Plan de localisation des points de prélèvements pour essais géotechniques de laboratoire (données bibliographiques). Positionnement sur fond cadastral
- Annexe 4.3** Caractéristiques physiques du Calcaire à astéries exploité en carrières souterraines à Saint-Emilion : synthèse des données bibliographiques
- Annexe 4.4** Caractéristiques mécaniques du Calcaire à astéries exploité en carrières souterraines à Saint-Emilion : synthèse des données bibliographiques

Annexe 4.1 : Principales caractéristiques des prélèvements pour essais géotechniques de laboratoire à Saint-Emilion

N°	Référence bibliographique	Indice carrière	Niv	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Type de grandeurs mesurées																		Observations
						Gam. sec	Gam. h ou sat	Gam. s	W h ou sat	Sr	n	VI sec	VI nat. ou sat	Vt	Rc sec	Rc nat. ou sat	Re	E	Nu	Rtb	Rif	C	Phi	
1	Bertrand et al., 1982	08047X5003	2	403 197	291 107	x	x		x		x	x	x		x	x		x	x					Hors zone d'étude (rue Gadet)
2	Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x	x				Limite zone d'étude (Porte St Martin)
3	Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 993	291 103	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
4	Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 977	291 104	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
5	Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 963	291 110	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
6	Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 934	291 087	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
7	Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 956	291 151	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
8	Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 967	291 192	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
9	Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 999	291 225	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
10	Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 974	291 162	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
11	Beaufrère, 1987	08047X5010	3	403 001	291 194	x	x				x	x	x			x	x	x						Limite zone d'étude (Porte St Martin)
12	Vouvé, 1990	08047X5002	4	403 102	291 146	x		x			x							x	x		x			Hors zone d'étude (Monolithe)
13	Denis et al., 1991	08047X5002	4	403 113	291 143	x					x	x			x	x					x			Hors zone d'étude (Monolithe)
14	Denis et al., 1991	08047X5010	3	402 982	291 169	x					x				x	x					x			Limite zone d'étude (Porte St Martin)
15	CEBTP, 1992	08047X5002	4	403 105	291 143		x				x				x			x		x	x			Hors zone d'étude (Monolithe)
16	Lhoste, août 1995	08047X5101	1	402 752	290 602	x					x	x	x			x								Cave Château Magdelaine
17	Lhoste, sept. 1995	08047X5015	1	403 053	291 334	x					x	x				x				x				Hors zone d'étude (Grandes Murailles)
18	Lhoste, août 1997	08047X5011	1	402 565	291 153	x					x		x			x		x		x				Hors zone d'étude (Château Canon)
19	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 120	291 138	x	x		x				x	x		x								Hors zone d'étude (Monolithe)
20	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 112	291 144	x	x		x				x	x		x		x		x				Hors zone d'étude (Monolithe)
21	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 107	291 148	x	x		x				x	x		x		x		x				Hors zone d'étude (Monolithe)
22	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 100	291 151	x	x		x				x	x		x								Hors zone d'étude (Monolithe)
23	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 095	291 155	x	x		x				x	x		x								Hors zone d'étude (Monolithe)
24	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 115	291 132	x	x		x				x	x		x				x				Hors zone d'étude (Monolithe)
25	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 108	291 136	x	x		x				x	x		x		x		x				Hors zone d'étude (Monolithe)
26	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 102	291 140	x	x		x				x	x		x		x		x				Hors zone d'étude (Monolithe)
27	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 096	291 144	x	x		x				x	x		x				x				Hors zone d'étude (Monolithe)
28	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 091	291 148	x	x		x				x	x		x				x				Hors zone d'étude (Monolithe)
29	Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 103	291 115	x	x		x				x	x		x						x	x	Hors zone d'étude (Catacombes)
30	Lhoste, août 1998	?	2	402 475	290 704	x			x		x		x			x		x		x				Hors zone d'étude (Château Berliquet)



Annexe 4.2 : Localisation des points de prélèvements pour essais géotechniques de laboratoire
Positionnement sur fond cadastral - Echelle 1 / 2 000

Annexe 4.3 : Caractéristiques physiques du calcaire de Saint-Emilion

I- Poids volumiques :

I.1- Poids volumique sec Gamma d (kN/m3)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Min.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var (%)	Observations
Bertrand et al., 1982	08047X5003	2	403 197	291 107	10	15,6	16,7	16,1	0,41	2,55	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	66			17,0	0,80	4,71	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	91			16,4	0,50	3,05	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	32			13,9	0,10	0,72	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 993	291 103	17	15,6	16,9	16,4	0,30	1,83	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 977	291 104	15	15,8	17,0	16,5	0,40	2,42	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 963	291 110	13	14,0	14,7	14,4	0,20	1,39	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 934	291 087	12	15,1	15,8	15,3	0,20	1,31	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 956	291 151	16	14,9	15,6	15,2	0,20	1,32	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 967	291 192	15	15,6	16,5	16,1	0,30	1,86	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 999	291 225	16	16,3	16,9	16,5	0,20	1,21	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 974	291 162	16	16,2	17,5	16,8	0,40	2,38	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	403 001	291 194	16	15,4	16,4	15,9	0,30	1,89	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Vouvé, 1990	08047X5002	4	403 102	291 146	5	16,2	18,6	17,2	1,25	7,23	Hors zone d'étude (Monolithe)
Denis et al., 1991	08047X5002	4	403 113	291 143	15	13,8	16,3	14,8	0,80	5,37	Hors zone d'étude (Monolithe)
Denis et al., 1991	08047X5010	3	402 982	291 169	14	16,7	18,3	17,4	0,49	2,79	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Lhoste, août 1995	08047X5101	1	402 752	290 602	3	13,9	14,5	14,3	0,32	2,25	Cave Château Magdelaine
Lhoste, sept. 1995	08047X5015	1	403 053	291 334	2	14,7	15,3	15,0	0,42	2,83	Hors zone d'étude (Grandes Murailles)
Lhoste, août 1997	08047X5011	1	402 565	291 153	5	13,1	13,7	13,5	0,23	1,69	Hors zone d'étude (Château Canon)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 120	291 138	3	14,7	15,3	15,0	0,30	2,00	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 112	291 144	7	14,1	20,7	17,4	2,17	12,45	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 107	291 148	29	14,5	18,2	15,9	0,91	5,72	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 100	291 151	3	16,9	20,2	18,7	1,66	8,91	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 095	291 155	3	15,7	16,2	16,0	0,25	1,58	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 115	291 132	4	15,3	19,7	17,0	2,02	11,91	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 108	291 136	8	15,0	20,5	17,1	1,72	10,05	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 102	291 140	6	14,5	19,3	17,2	1,81	10,48	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 096	291 144	4	16,6	20,0	18,5	1,47	7,97	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 091	291 148	3	15,6	16,5	16,2	0,49	3,05	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 103	291 115	20	13,5	15,9	15,1	0,58	3,87	Hors zone d'étude (Catacombes)
Lhoste, août 1998	?	2	402 475	290 704	3	17,0	17,5	17,3	0,25	1,46	Hors zone d'étude (Château Berliquet)

Nombre total d'essais	472
Valeur moyenne	16,10 kN/m3

I.2- Poids volumique réel Gamma h (kN/m3)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 1982	08047X5003	2	403 197	291 107	9	26,8	27,1	27,0	0,09	0,33	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
CEBTP, 1992	08047X5002	4	403 105	291 143	?	15,0	22,0	?	?	?	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 120	291 138	3	16,9	17,7	17,4	0,46	2,65	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 112	291 144	9	17,3	23,2	20,0	2,11	10,55	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 107	291 148	31	17,4	21,4	18,7	0,91	4,88	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 100	291 151	3	19,9	22,1	20,9	1,11	5,28	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 095	291 155	3	18,6	19,1	18,9	0,25	1,33	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 115	291 132	4	18,6	21,6	19,7	1,35	6,88	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 108	291 136	9	17,8	22,9	19,9	1,46	7,32	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 102	291 140	6	18,0	21,5	19,9	1,28	6,45	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 096	291 144	4	19,5	21,9	20,8	1,16	5,58	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 091	291 148	3	18,7	19,3	19,0	0,31	1,61	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 103	291 115	10	16,4	17,5	17,0	0,37	2,15	Hors zone d'étude (Catacombes)

Nombre total d'essais	> 96
Valeur moyenne	19,81 kN/m3

I.3- Poids volumique à saturation Gamma sat (kN/m3)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	66	19,2	21,6	20,6	0,50	2,43	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	91	19,2	20,7	20,2	0,30	1,49	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	32	18,6	18,9	18,7	0,10	0,53	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 993	291 103	17	19,5	20,9	20,3	0,30	1,48	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 977	291 104	15	20,0	20,7	20,4	0,30	1,47	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 963	291 110	13	18,8	19,3	19,1	0,20	1,05	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 934	291 087	12	19,5	19,9	19,6	0,20	1,02	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 956	291 151	16	19,4	19,9	19,6	0,10	0,51	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 967	291 192	15	19,8	20,5	20,1	0,20	1,00	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 999	291 225	16	20,3	20,7	20,4	0,10	0,49	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 974	291 162	16	20,2	21,0	20,6	0,30	1,46	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	403 001	291 194	16	19,7	20,3	20,0	0,20	1,00	Limite zone d'étude (Porte St Martin)

Nombre total d'essais	325
Valeur moyenne	20,07 kN/m3

I.4- Poids volumique des grains solides Gamma s (kN/m3)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	66			26,6	0,40	1,50	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	91			26,3	0,50	1,90	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	32			26,7	0,20	0,75	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Vouvé, 1990	08047X5002	4	403 102	291 146	5	26,1	27,7	26,9	0,67	2,51	Hors zone d'étude (Monolithe)

Nombre total d'essais	194
Valeur moyenne	26,48 kN/m3

II- Teneurs en eau

II.1- Teneur en eau naturelle Wh (%)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 120	291 136	3	14,7	17,8	16,1	1,58	9,85	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 112	291 144	8	12,1	23,9	15,6	4,51	28,87	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 107	291 148	32	9,8	22,0	16,7	3,01	18,01	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 100	291 151	3	9,6	17,9	12,5	4,68	37,45	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 095	291 155	3	17,9	18,2	18,0	0,15	0,85	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 115	291 132	4	9,7	21,2	16,1	5,98	37,24	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 108	291 136	8	11,6	19,5	16,2	2,90	17,96	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 102	291 140	6	11,5	23,7	15,9	5,18	32,53	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 096	291 144	4	9,4	17,3	12,5	3,44	27,54	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 091	291 148	3	13,1	22,2	17,5	4,55	25,98	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 103	291 115	20	8,8	12,1	10,7	0,97	9,12	Hors zone d'étude (Catacombes)
Lhoste, août 1998	?	2	402 475	290 704	1	12,7	12,7	12,7			Hors zone d'étude (Château Berliquet)

Nombre total d'essais	95
Valeur moyenne	14,92 %

II.2- Teneur en eau à saturation W sat (%)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 1982	08047X5003	2	403 197	291 107	14	21	27	25	1,85	7,45	Hors zone d'étude (rue Gadet)

Nombre total d'essais	14
Valeur moyenne	24,79 %

II.3- Degré de saturation Sr (%)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	66			21,3	3,10	14,55	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	91			22,7	2,30	10,13	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	32			34,4	0,70	2,03	Limite zone d'étude (Porte St Martin)

Nombre total d'essais	189
Valeur moyenne	24,19 %

III- Porosité

III.1- Porosité à l'eau n (%)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 1982	08047X5003	2	403 197	291 107	10	38,0	42,0	40,3	1,56	3,88	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	66			36,0	4,00	11,11	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	91			37,0	3,00	8,11	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	32			48,0	1,00	2,08	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 993	291 103	17	37,6	42,4	39,6	1,18	2,98	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 977	291 104	15	37,0	41,6	38,9	1,51	3,88	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 963	291 110	13	45,6	48,2	46,8	0,90	1,92	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 934	291 087	12	41,3	44,2	43,2	0,93	2,15	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 956	291 151	16	43,0	45,1	44,0	0,56	1,27	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 967	291 192	15	38,1	43,6	40,3	1,47	3,65	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 999	291 225	16	38,7	40,5	39,3	0,60	1,53	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 974	291 162	16	35,0	39,9	37,6	1,54	4,10	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	403 001	291 194	16	38,8	42,7	40,8	1,39	3,41	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Vouvé, 1990	08047X5002	4	403 102	291 146	5	29,4	40,4	35,9	4,61	12,86	Hors zone d'étude (Monolithe)
Denis et al., 1991	08047X5002	4	403 113	291 143	15	41,0	50,6	46,0	2,95	6,42	Hors zone d'étude (Monolithe)
Denis et al., 1991	08047X5010	3	402 982	291 169	14	33,0	39,0	36,0	1,76	4,89	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
CEBTP, 1992	08047X5002	4	403 105	291 143	10	18,0	45,0	?	?	?	Hors zone d'étude (Monolithe)
Lhoste, août 1995	08047X5101	1	402 752	290 602	3	45,0	47,0	45,7	1,15	2,53	Cave Château Magdelaine
Lhoste, sept. 1995	08047X5015	1	403 053	291 334	2	42,0	44,0	43,0	1,41	3,29	Hors zone d'étude (Grandes Murailles)
Lhoste, août 1997	08047X5011	1	402 565	291 153	5	50,3	52,3	51,3	0,73	1,41	Hors zone d'étude (Château Canon)
Lhoste, août 1998	?	2	402 475	290 704	6	34,0	38,2	35,8	1,88	5,25	Hors zone d'étude (Château Berliquet)

Nombre total d'essais	395
Valeur moyenne	39,80 %

IV- Vitesse de propagation d'ondes soniques

IV.1- Vitesse de propagation des ondes longitudinales à l'état sec VI sec (m/s)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 1982	08047X5003	2	403 197	291 107	22	1 670	2 560	2 117	263,7	12,46	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	66			2 292	20,0	0,87	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	91			2 140	102,0	4,77	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	32			1 640	49,0	2,99	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 993	291 103	17	2 090	2 330	2 214	67,1	3,03	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 977	291 104	15	2 010	2 440	2 253	136,9	6,08	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 963	291 110	13	1 590	1 890	1 805	76,8	4,25	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 934	291 087	12	1 930	2 100	1 999	59,5	2,98	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 956	291 151	16	1 880	2 130	2 039	69,2	3,39	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 967	291 192	15	2 150	2 330	2 249	49,8	2,21	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 999	291 225	16	2 340	2 710	2 463	90,7	3,68	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 974	291 162	16	2 470	2 870	2 640	132,5	5,02	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	403 001	291 194	16	2 150	2 380	2 241	74,1	3,31	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Denis et al., 1991	08047X5002	4	403 113	291 143	10	1 870	2 230	1 982	120,3	6,07	Hors zone d'étude (Monolithe)
Lhoste, août 1995	08047X5101	1	402 752	290 602	3	2 045	2 384	2 255	183,2	8,13	Cave Château Magdelaine
Lhoste, sept. 1995	08047X5015	1	403 053	291 334	2	1 776	2 116	1 946	240,4	12,35	Hors zone d'étude (Grandes Murailles)

Nombre total d'essais	362
Valeur moyenne	2 150 m/s

IV.2- Vitesse de propagation des ondes longitudinales à l'état naturel VI nat (m/s)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Lhoste, août 1995	08047X5101	1	402 752	290 602	3	1 825	1 898	1 854	38,6	2,08	Cave Château Magdelaine
Lhoste, août 1997	08047X5011	1	402 565	291 153	5	1 542	1 742	1 590	85,7	5,39	Hors zone d'étude (Château Canon)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 120	291 138	3	1 660	1 830	1 763	91	5,15	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 112	291 144	3	1 730	3 110	2 213	777	35,12	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 107	291 148	18	1 370	3 100	1 922	393	20,44	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 100	291 151	3	1 920	3 020	2 580	582	22,56	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 095	291 155	3	1 800	1 900	1 847	50	2,73	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 115	291 132	3	1 870	2 870	2 220	563	25,38	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 108	291 136	5	1 300	1 910	1 744	252	14,45	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 102	291 140	3	1 890	1 960	1 923	35	1,83	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 096	291 144	3	1 930	2 730	2 340	400	17,11	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 091	291 148	2	1 830	2 060	1 945	163	8,36	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 103	291 115	10	1 790	2 100	1 926	98	5,06	Hors zone d'étude (Catacombes)
Lhoste, août 1998	?	2	402 475	290 704	6	2 318	2 554	2 431	85	3,49	Hors zone d'étude (Château Berliquet)

Nombre total d'essais	70
Valeur moyenne	1 989 m/s

IV.3- Vitesse de propagation des ondes longitudinales à l'état saturé $V_{l\text{ sat}}$ (m/s)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 1982	08047X5003	2	403 197	291 107	10	1 940	2 640	2 316	235,5	10,17	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	66	2 250	3 050	2 550	174,0	6,82	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	91	2 050	2 650	2 374	125,0	5,27	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X5010	3	402 978	291 162	32	1 950	2 150	2 035	41,0	2,01	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 993	291 103	17	2 350	2 620	2 490	74,9	3,01	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 977	291 104	15	2 320	2 680	2 504	120,2	4,80	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 963	291 110	13	2 110	2 200	2 140	26,1	1,22	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 934	291 087	12	2 160	2 390	2 245	68,8	3,06	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	4	402 956	291 151	16	2 180	2 320	2 248	43,7	1,94	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 967	291 192	15	2 400	2 530	2 478	37,1	1,50	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 999	291 225	16	2 510	2 730	2 606	56,0	2,15	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	402 974	291 162	16	2 740	3 060	2 873	119,5	4,16	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X5010	3	403 001	291 194	16	2 250	2 650	2 514	98,9	3,93	Limite zone d'étude (Porte St Martin)

Nombre total d'essais	335
Valeur moyenne	2 413 m/s

IV.4- Vitesse de propagation des ondes transversales à l'état naturel $V_{t\text{ nat}}$ (m/s)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 120	291 138	3	1 040	1 130	1 080	46	4,24	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 112	291 144	3	890	1 410	1 167	262	22,42	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 107	291 148	18	710	1 310	1 033	181	17,54	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 100	291 151	3	990	1 700	1 443	394	27,28	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 095	291 155	3	1 010	1 170	1 083	81	7,46	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 115	291 132	3	910	1 370	1 067	263	24,63	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 108	291 136	5	680	1 100	980	172	17,60	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 102	291 140	3	760	1 160	1 023	228	22,29	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 096	291 144	3	960	1 420	1 260	260	20,63	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 091	291 148	2	1 020	1 180	1 100	113	10,29	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X5002	4	403 103	291 115	10	930	1 160	1 074	66	6,18	Hors zone d'étude (Catacombes)

Nombre total d'essais	56
Valeur moyenne	1 086 m/s

Résistances mécaniques du calcaire de Saint-Emilion

I- Résistances en compression simple :

I.1- Résistance en compression simple à l'état sec Rc sec (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre. essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 198	08047X500	2	403 197	291 107	7	2,30	5,40	3,84	1,20	31,11	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Denis et al., 1991	08047X500	4	403 113	291 143	5	2,3	3,6	2,9	0,59	19,92	Hors zone d'étude (Monolithe)
Denis et al., 1991	08047X501	3	402 982	291 169	4	4,0	5,6	4,9	0,78	15,90	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
CEBTP, 1992	08047X500	4	403 105	291 143	?	3,5	11,7	?	?	?	Hors zone d'étude (Monolithe)

Nombre total d'essais	> 18
Valeur moyenne	3,83 MPa

I.2- Résistance en compression simple à l'état naturel Rc nat (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre. essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	17			4,71	0,66	14,01	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	23			3,56	0,56	15,73	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	8			2,14	0,30	14,02	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Vouvé, 1990	08047X500	4	403 102	291 146	5	3,06	6,73	4,41	1,42	32,20	Hors zone d'étude (Monolithe)
Lhoste, août 1995	08047X510	1	402 752	290 602	3	2,5	3,3	3,0	0,48	15,96	Cave Château Magdelaine
Lhoste, sept. 1995	08047X501	1	403 053	291 334	1	2,0	2,0	2,0			Hors zone d'étude (Grandes Murailles)
Lhoste, août 1997	08047X501	1	402 565	291 153	3	1,3	1,8	1,7	0,28	17,08	Hors zone d'étude (Château Canon)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 120	291 138	3	2,3	3,2	2,9	0,49	17,21	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 112	291 144	3	1,3	4,6	3,0	1,66	54,60	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 107	291 148	18	0,9	7,0	2,2	1,46	65,43	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 100	291 151	3	2,0	9,8	5,7	3,92	68,69	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 095	291 155	3	2,4	2,7	2,6	0,15	5,95	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 115	291 132	3	2,0	5,1	3,2	1,64	50,85	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 108	291 136	5	1,0	4,4	2,7	1,20	44,88	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 102	291 140	3	2,7	4,9	3,7	1,11	29,63	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 096	291 144	2	4,7	6,6	5,7	1,34	23,78	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 091	291 148	2	1,2	1,6	1,4	0,28	20,20	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 103	291 115	10	1,9	4,0	2,7	0,77	28,91	Hors zone d'étude (Catacombes)
Lhoste, août 1998	?	2	402 475	290 704	3	7,2	10,1	8,3	1,52	18,24	Hors zone d'étude (Château Berliquet)

Nombre total d'essais	118
Valeur moyenne	3,39 MPa

I.4- Limite élastique en compression simple à l'état naturel Re nat (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre. essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	17			3,60	0,65	18,06	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	23			2,60	0,55	21,15	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	8			1,70	0,19	11,18	Limite zone d'étude (Porte St Martin)

Nombre total d'essais	48
Valeur moyenne	2,80 MPa

I.3- Résistance en compression simple à l'état saturé Rc sat (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 198	08047X500	2	403 197	291 107	12	0,80	3,00	2,26	0,81	35,75	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 993	291 103	17	1,70	3,40	2,40	0,39	16,25	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 977	291 104	15	1,70	3,10	2,40	0,42	17,50	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 963	291 110	13	1,00	1,40	1,20	0,11	9,17	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 934	291 087	12	0,90	1,40	1,10	0,17	15,45	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 956	291 151	16	1,60	2,60	2,10	0,27	12,86	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 967	291 192	15	1,70	2,30	1,90	0,16	8,42	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 999	291 225	16	2,70	4,00	3,30	0,34	10,30	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 974	291 162	16	2,60	5,00	3,70	0,86	23,24	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	403 001	291 194	16	1,20	1,90	1,70	0,22	12,94	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Denis et al., 1991	08047X500	4	403 113	291 143	5	1,10	1,70	1,46	0,26	17,86	Hors zone d'étude (Monolithe)
Denis et al., 1991	08047X501	3	402 982	291 169	5	2,53	5,21	4,12	0,98	23,82	Limite zone d'étude (Porte St Martin)

Nombre total d'essais	158
Valeur moyenne	2,29 MPa

I.5- Limite élastique en compression simple à l'état saturé Re sat (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 993	291 103	17			1,40	0,25	17,79	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 977	291 104	15			1,28	0,41	31,93	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 963	291 110	13			0,63	0,23	36,61	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 934	291 087	12			0,65	0,27	41,09	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 956	291 151	16			1,48	0,26	17,41	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 967	291 192	15			1,01	0,43	42,34	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 999	291 225	14			2,02	0,36	17,92	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 974	291 162	14			1,99	0,23	11,74	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	403 001	291 194	14			1,14	0,26	22,70	Limite zone d'étude (Porte St Martin)

Nombre total d'essais	130
Valeur moyenne	1,31 MPa

II- Modules de déformation longitudinale :

II.1- Module d'Young à l'état sec E sec (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 198	08047X500	2	403 197	291 107	4	4 030	7 610	5 640	1 675	29,70	Hors zone d'étude (rue Gadet)
CEBTP, 1992	08047X500	4	403 105	291 143	?	1 050	6 700	?	?	?	Hors zone d'étude (Monolithe)

Nombre total d'essais	> 7
Valeur moyenne	5 640 MPa

II.2- Module d'Young à l'état naturel E nat (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	17			6 034	1 649	27,33	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	23			4 409	1 089	24,70	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	8			2 041	549	26,90	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Vouvé, 1990	08047X500	4	403 102	291 146	4	1 088	2 198	1 737	467	26,88	Hors zone d'étude (Monolithe)
Lhoste, août 1997	08047X501	1	402 565	291 153	3	129	200	161	36	22,38	Hors zone d'étude (Château Canon)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 112	291 144	1	3 940	3 940	3 940			Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 107	291 148	2	3 700	12 200	7 950	6 010	75,60	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 108	291 136	1	4 450	4 450	4 450			Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 102	291 140	1	5 275	5 275	5 275			Hors zone d'étude (Monolithe)
Lhoste, août 1998	?	2	402 475	290 704	3	1 763	1 834	1 803	36	2,01	Hors zone d'étude (Château Berliquet)

Nombre total d'essais	63
Valeur moyenne	4 170 MPa

II.3- Module d'Young à l'état saturé E sat (MPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 198	08047X500	2	403 197	291 107	4	2 520	8 310	4 833	2 764	57,20	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 993	291 103	17	2 575	5 880	4 519	868	19,21	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 977	291 104	15	1 630	6 185	3 298	1 249	37,87	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 963	291 110	13	275	2 210	1 579	538	34,07	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 934	291 087	12	330	2 350	1 102	547	49,64	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	4	402 956	291 151	16	2 110	3 555	2 832	476	16,81	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 967	291 192	15	1 865	3 245	2 514	423	16,83	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 999	291 225	16	3 705	5 735	4 668	567	12,15	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	402 974	291 162	16	7 230	11 580	9 216	1 358	14,74	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Beaufrère, 1987	08047X501	3	403 001	291 194	16	2 005	3 650	2 818	592	21,01	Limite zone d'étude (Porte St Martin)

Nombre total d'essais	140
Valeur moyenne	3 783 MPa

II.4- Module dynamique (calculé à partir de VI et Vt) Ed (GPa)

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 120	291 138	3	46,39	50,70	48,46	2,16	4,46	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 112	291 144	2	37,10	87,87	62,49	35,90	57,45	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 107	291 148	18	24,28	100,78	53,72	20,48	38,12	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 100	291 151	3	51,45	153,46	116,7	56,67	48,56	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 095	291 155	3	49,45	60,05	54,38	5,34	9,82	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 115	291 132	3	42,20	109,66	64,76	38,88	60,04	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 108	291 136	5	21,59	60,83	51,73	16,98	32,83	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 102	291 140	3	32,18	69,54	56,77	21,30	37,52	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 096	291 144	3	48,00	116,10	86,97	35,10	40,36	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 091	291 148	2	51,19	65,40	58,30	10,05	17,24	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 103	291 115	10	3,73	6,00	5,02	0,63	12,52	Hors zone d'étude (Catacombes)

Nombre total d'essais	55
Valeur moyenne	#### MPa

III- Modules de déformation transversale :

III.1- Coefficient de Poisson à l'état sec Nu sec

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 198	08047X500	2	403 197	291 107	5	0,17	0,23	0,20	0,03	13,69	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Nombre total d'essais					5						
Valeur moyenne					0,20						

III.2- Coefficient de Poisson à l'état naturel Nu nat

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Rai, 1984	08047X501	3	402 978	291 162	4	0,17	0,29	0,22	0,06	27,80	Limite zone d'étude (Porte St Martin)
Vouvé, 1990	08047X500	4	403 102	291 146	1	0,21	0,21	0,21			Hors zone d'étude (Monolithe)
Nombre total d'essais					5						
Valeur moyenne					0,22						

III.3- Coefficient de Poisson à l'état saturé Nu sat

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Bertrand et al., 198	08047X500	2	403 197	291 107	2	0,19	0,24	0,22	0,04	16,44	Hors zone d'étude (rue Gadet)
Nombre total d'essais					2						
Valeur moyenne					0,22						

III.4- Coefficient de Poisson dynamique (calculé à partir de VI et Vt) Nu d

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart type	Coef. de var. (%)	Observations
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 120	291 138	3	0,14	0,26	0,19	0,06	32,87	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 112	291 144	2	0,34	0,41	0,38	0,05	13,20	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 107	291 148	18	0,23	0,39	0,29	0,05	16,67	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 100	291 151	3	0,21	0,32	0,27	0,06	20,80	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 095	291 155	3	0,16	0,30	0,23	0,07	30,43	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 115	291 132	3	0,34	0,36	0,35	0,01	2,86	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 108	291 136	5	0,24	0,32	0,28	0,04	13,21	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 102	291 140	3	0,21	0,41	0,28	0,11	38,88	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 096	291 144	3	0,23	0,34	0,29	0,06	19,38	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 091	291 148	2	0,26	0,27	0,27	0,01	2,67	Hors zone d'étude (Monolithe)
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 103	291 115	10	0,25	0,32	0,27	0,02	7,92	Hors zone d'étude (Catacombes)
Nombre total d'essais					55						
Valeur moyenne					0,28 MPa						

Référence bibliographique	Indice carrière	Niv. de carr.	X Lamb. (m)	Y Lamb. (m)	Nbre essais	Val. Mini.	Val. Max.	Moy.	Ecart. type	Coef. de var. (%)	Observations
Antoinet et al., 1998	08047X500	4	403 103	291 115	2	55,0	65,5	60,3	7,4	12,32	Hors zone d'étude (Catacombes)
Nombre total d'essais					2						
Valeur moyenne					60						

Annexe 5

Inventaire des accès aux carrières souterraines de Saint-Emilion dans la zone d'étude

Annexe 5.1 Exemple de fiche descriptive d'un accès aux carrières (Trébucq, 1998 - 2)

Annexe 5.2 Principales caractéristiques des accès aux carrières souterraines localisés dans la zone d'étude ou à proximité immédiate : type d'accès, numéro d'inventaire, coordonnées Lambert, cote NGF, niveau de carrière correspondante, bref descriptif

2/B10

Commune de St EMILION

Mairie 33330 St EMILION

Rue des DOUVES

AO.86

DUBOIS-CHALLON Jean-Marie

Chateau BELAIR 33330 St EMILION

NUMERO LOCALISATION

PROPRIETAIRE1

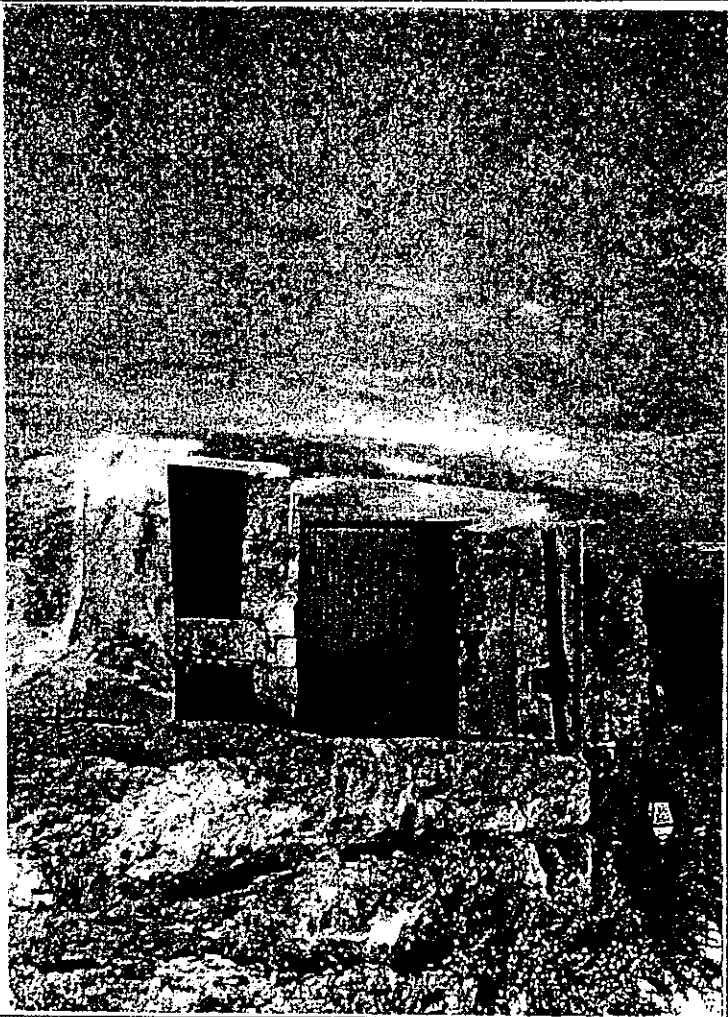
ADRESSE1

PARCELLE ENTREE

DANS PARCELLE

PROPRIETAIRE2

ADRESSE2



Accès garage fermé par porte métallique. Accès possible par rampe descendante. Existe autre accès à côté, une porte en bois L= 0.80, H= 1.2. Accès possible par marches descendantes. Présence de fissures et pose de témoins qui n'ont pas travaillés.

REMARQUES:

INDICE: 08047X5011

DESIGNATION: E2

TYPE: Porte

LARGEUR: 1.5

HAUTEUR: 0.8

PROFONDEUR:

ETAT: Bouché

PROTECTION: Efficace

EPAIS TERRAINS:

LAMBERT: 3

X_ouvrage: 403.08

Y_ouvrage: 290.792

PRECISION XY: M05

Z_ouvrage:

PRECISION Z:

Annexe 5.2 : Principales caractéristiques des accès aux carrières souterraines dans la zone d'étude

N° ordre	N° inventaire	Indice carrière	Désignation	Type	Larg eur (m)	Hau teur (m)	Rec ouvr (m)	X Lamb (km)	Y Lamb (km)	Z (m)	Profo nd (m)	Etat	Niv de carr	Leve topo	N° sur plan	Observations
1		08047X5007	E1	Ouverture dans falaise	1,2	2,5	5,8	403,124	290,862	60,2		Fermé	4	x	9	Entrée musée de la Poterie
2		08047X5007	E2	Ouverture dans falaise				403,098	290,810	64,0			4			
3		08047X5007	E3	Ouverture dans falaise				403,090	290,785	65,5			4			
4		08047X5007	E4	Ouverture dans falaise		2,5	2,8	403,093	290,695	72,0		Libre	2	x	18	Entrée ouverte dans propriété privée en pied de falaise
5		08047X5007	E5	Ouverture dans falaise	2,5	2,2	8,2	403,092	290,785	64,4		Fermé	4	x	12	Entrée cave Union des Producteurs (portail fermé au cadenas)
6	202	08047X5007	E6	Ouverture dans falaise	5	2		403,111	290,870			RAS	4			Ouverture dans le jardin de Mme Messenger
7		08047X5007	E7	Porte		4,2	6,5	403,103	290,807	64,3		Fermé	4	x	11	Entrée cave Querre (portail ouvert en journée)
8	46	08047X5007	PUITS1	Puits	0,1	0,8		403,094	290,872			RAS	4			Fontaine au croisement Porte St Martin et rue du Couvent
9	80	08047X5007	PUITS2	Puits	0,8	0,5		403,087	290,786	73,8		Bouché	4	x	18	Puits chez M. Veyssière. Restauré. Support pots de fleurs
10		08047X5007	PUITS3	Puits				403,088	290,725	73,0			4	x	20	Puits chez M. Deminière
11	22	08047X5010	E1C2	Porte	0,4	1,9	3,3	402,962	290,984	78,0		Fermé	1	x	3	Porte en bois + 3 fenêtres à côté. Appartient à la mairie
12	21	08047X5010	E2C2	Porte	0,3	1,8		402,963	290,982	77,5		Fermé	1			Porte en bois fermée à clé + fenêtre fermée par barreaux et planches
13	20	08047X5010	E3C2	Porte	0,5	2		402,967	290,976	78,5		Fermé	1			Porte en bois fermée à clé + fenêtre fermée par grillage et planches
14	19	08047X5010	E4C2	Soupirail	0,4	1		402,969	290,972			Bouché	1			Fenêtre bouchée par des planches
15	18	08047X5010	E5C2	Soupirail	0,8	0,5		402,973	290,967	77,5		Bouché	1			Fenêtre bouchée par des planches
16	17	08047X5010	E6C2	Porte	2	2,1	3,3	402,976	290,959	77,5		Grillagé	1	x	4	Portail en grillage + tôle. Ancien garage de M. Videgal
17	16	08047X5010	E7C2	Porte	1,8	1,9		402,979	290,956	76,5		Grillagé	1			Entrée d'une remise à bois, fermée par un portail en bois grillagé
18		08047X5010	E8C2	Ouverture dans falaise	2,5	1,8		402,981	290,953	76,5		Grillagé	1			Accès à une remise, fermé par un portail métallique grillagé
19	15	08047X5010	E8C7	Ouverture dans falaise	12	1,5		402,987	290,942	77,0		Bouché	1			Entrée fermée par de gros blocs de pierre
20		08047X5010	E9C2	Ouverture dans falaise	2	2,1		402,984	290,947	76,5		Grillagé	1		5	Entrée fermée par une clôture métallique grillagée. Dalle de toit effondrée à l'entrée
21	24	08047X5010	E12	Ouverture dans falaise	2,5	2,1		402,985	290,978			Bouché	2			Accès condamné par de gros blocs de pierre
22	42	08047X5010	E13	Porte	2,5	1,9	5,9	402,988	291,133	74,2		Fermé	2	x	1	Portail métallique fermé avec cadenas, dans les Douves
23	23	08047X5010	PUITS1	Puits	0,4	1,1		402,954	291,015	79,2		RAS	2 + 4	x	10	Puits chez M. Talet. Support pots de fleurs sur plaque fonte
24		08047X5010	PUITS4	Puits				402,947	291,061	81,3			2	x	9	Sondage (peu visible, dans massif de fleurs)
25	1	08047X5011	E1	Ouverture dans falaise	3,5	3,0	1,3	403,079	290,774	73,1		Libre	2	x	13	Passage voirie communale en souterrain
26	2	08047X5011	E2	Porte	1,5	0,8		403,080	290,792			Bouché	2			Entrée de garage fermée par portail métallique
27	3	08047X5011	E3	Ouverture dans falaise	8	1		403,069	290,801			libre	2			
28	4	08047X5011	E4	Ouverture dans falaise	4	1,1		403,043	290,816			libre	2			Accès le long de la rue des Douves par quelques marches
29	5	08047X5011	E5	Ouverture dans falaise	4,2	3	4,8	403,037	290,822	73,5		Fermé	2	x	8	Accès depuis rue des Douves, fermé par grillage treillis soudé
30	8	08047X5011	E6	Ouverture dans falaise	1,6	1,5		403,028	290,838			Grillagé	2			Accès le long de la rue des Douves fermé par une grille
31	9	08047X5011	E7	Ouverture dans falaise	3	0,8		403,021	290,861			Grillagé	2			Accès le long de la rue des Douves fermé par une grille
32	10	08047X5011	E8	Ouverture dans falaise	4,0	2,1		403,039	290,868			Grillagé	2			Accès par rampe descendante, fermé par une grille amovible
33	11	08047X5011	E9	Ouverture dans falaise	5	3		403,004	290,899			Bouché	2			Accès fermé par grille et bloc de pierre. Ancien accès au local à poubelles

34	12	08047X5011	E10	Ouverture dans falaise	3,3	0,5	5,3	403,021	290,910	74,6		Grillagé	2	x	7	Accès fermé par un grillage avec escalier en bois descendant dans les carrières
35	13	08047X5011	E11	Ouverture dans falaise	1,1	0,3		403,013	290,927			RAS	2			Ouverture étroite d'accès difficile
36	14	08047X5011	E12	Porte	2,8	3	4,4	403,007	290,942	73,9		Fermé	2	x	6	Accès fermé par portail métallique, caché par un figuier
37		08047X5011	E13	Ouverture dans falaise	4,5	3,7	3,4	403,090	290,755	72,9		Libre	2	x	15	Passage voirie communale en souterrain
38		08047X5011	PUITS1	Puits				403,029	290,820				2 + 3			Puits de communication entre niveaux 2 et 3
39		08047X5013	E1	Porte				403,038	291,027	64,2			4			Accès privé à la cave de la Tour du Roy
40		08047X5013	E2	Porte				403,045	291,018	64,2			4			Accès privé à la cave de la Tour du Roy
41		08047X5013	E3	Porte				403,095	290,952	63,0		Grillagé	4			Accès à la cave de la Tour du Roy, fermé par une grille
42		08047X5013	E4	Porte				403,018	290,980				2			Porte en fer donnant accès au niveau 3 carrière 5010
43	32	08047X5013	E5	Escalier	1,6	1,1		403,002	290,952			Fermé	2			Accès par escalier descendant depuis jardin du Couvent (bordure de falaise)
44	48	08047X5013	E6	Porte	1,5	2,3		403,096	290,953			Fermé	4			Portail métallique fermé avec cadenas
45	151	08047X5013	E7	Ouverture dans falaise	2,5	2,1	5,0	403,033	291,028	63,8		Fermé	4	x	2	Porte en bois avec fenêtres vitrées (entrée cave Mons-Maleret)
46		08047X5013	PUITS1	Puits				403,047	290,999			Effondré	4			Puits bouché
47	31	08047X5013	PUITS2	Puits	0,1	0,8		402,986	291,019			RAS	4			Puits équipé d'une pompe
48		08047X5013	PUITS3	Puits				402,986	291,016	80,3			4	x	11	Accessibilité non assurée
49	49	08047X5014	E1	Rampe descendante	0,4	2		403,089	290,938	67,0		RAS	4			Rampe d'accès dans un jardin, partiellement caché par la végétation
50	204	08047X5014	E2	Porte	1,1	1,4		403,113	290,910	67,0		Bouché	4			Porte fermée dans un terrain privé
51		08047X5014	PUITS1	Puits				403,096	290,920				4			
52		08047X5016	E1	Escalier	1	1		403,074	290,917	74,0		Grillagé	2			Escalier intérieur donnant accès à une cave privée
53		08047X5017	E1	Ouverture dans falaise				403,081	290,918	73,0			2			Ouverture dans une falaise donnant sur un jardin
54		08047X5018	E1	Porte				403,086	290,903	73,0		RAS	2			Porte dans une dépendance
55	200	08047X5019	E1	Escalier	1	1,3		403,113	290,893			Bouché	3			Escalier en sous-sol
56		08047X5019	PUITS1	Puits	1,0	0,8		403,069	290,856	77,5		Bouché	4	x	17	Accès possible par une échelle
57	47	08047X5020	E1	Porte	0,5	1,5		403,060	290,955	72,0		RAS	2			Grille ouverte dans jardin face à la Tour du Roy
58	44	08047X5020	E2	Porte	0,4	0,5		403,065	290,895			Bouché	2			Porte en bois mal fermée
59	33	08047X5020	PUITS1	Puits	0,4	0,6		403,030	290,950	81,2		Grillagé	2	x	13	Puits d'aération, dans les vignes du Couvent
60	45	08047X5020	PUITS2	Puits	0,8	1,5		403,055	290,891	79,6	10	RAS	2 + 4	x	16	Puits avec toit en voûte, le long du bâtiment (puits Gracia)
61	149	08047X5020	PUITS3	Puits	1,0			403,016	290,946	81,3	10	RAS	1	x	12	Puits d'aération ouvert, dans le jardin du Couvent
62	150	08047X5020	PUITS4	Puits	1,2			403,029	290,934	80,2	10	RAS	2	x	14	Puits d'aération ouvert, dans le jardin du Couvent
63	203	08047X5020	PUITS5	Puits	1,0	0,8		403,071	290,929	76,9		Bouché	4	x	15	Puits recouvert avec dalle béton, ne donnant probablement pas accès aux carrières
64	55	08047X5022	E1	Ouverture dans falaise	0,5	1,5		403,063	290,988	68,7		Grillagé	3	x		Billetterie d'accès à la Tour du Roy
65		08047X5022	E2	Ouverture dans falaise				403,071	290,984	68,7		RAS	3	x		Accès par un escalier depuis la terrasse
66		08047X5023	E	Escalier				403,076	290,994	63,0			4			
67		08047X5023	E1	Ouverture dans falaise				403,076	290,994	62,0			4			Accès par un escalier suivi d'une grille et d'une rampe descendante
68		08047X5023	E2	Rampe descendante				403,059	290,997	67,0			4	x		Portail métallique fermé avec cadenas
69		08047X5023	E3	Ouverture dans falaise				403,073	290,998	62,9			4	x		
70	54	08047X5024	E1	Ouverture dans falaise	0,8	2,2		403,090	290,988	62,5		Bouché	4	x		Porte dans une cour
71		08047X5024	E2	Porte				403,086	290,992	62,6			4	x		Accès par un chai
72		08047X5025	E1	Ouverture dans falaise				403,071	291,004	63,0			4			Grille fermée par un cadenas
73		08047X5028	E1	Escalier				403,010	291,037	76,0		RAS	2			Trappe à l'intérieur d'une habitation

74		08047X5029	E1	Porte				403,005	291,055	74,0			2			Accès dans une cave.intérieur voûtée
75	29	08047X5029	E2	Ouverture dans falaise	0,3	0,2		402,984	291,050			RAS	2			Accès en façade de maison, servant de remise à bois
76		08047X5029	PUITS1	Puits	0,5	1,0		402,992	291,053			Bouché	2			Puits bouché par une plaque en fonte, devant la galerie du couvent
77		08047X5034	E1	Porte				403,093	290,830	73,1		Fermé	2	x	10	Entrée petite cave privée, à l'intérieur d'une maison
78	6	08047X5034	E2	Porte	2,2	2,5	3,5	403,052	290,843	74,1		Fermé	2			Entrée de garage fermée par un portail métallique
79	7	08047X5034	E3	Porte	0,8	2	3,0	403,057	290,847	74,2		Fermé	2			Porte en bois fermée par un cadenas
80		08047X5035	E1	Ouverture dans falaise				403,107	290,840	69,0			2			Accès dans une cour intérieure
81		08047X5036	E1	Ouverture dans falaise				403,094	290,856	73,0			2			Accès dans un jardin
82		08047X5095	E1	Ouverture dans falaise				403,125	290,852	68,0			3			Accès de plain-pied dans une maison
83		08047X5096	E1	Ouverture dans falaise				403,107	290,768				3			Petite porte donnant dans la rue
84	83	08047X5096	E2	Porte	1,2	1,2	5,0	403,111	290,763	66,5		Fermé	3	x	14	Porte en bois cadénassée en bordure de la route
85	84	08047X5096	E3	Ouverture dans falaise	0,5	0,4		403,109	290,774			Bouché	3			Fenêtre fermée par barreaux métalliques
86	81	08047X5096	PUITS1	Puits	0,5	0,8		403,104	290,741	74,0		RAS	3	x	19	Puits dans jardin de M. Bertolussi. Support pour pots de fleurs
87	82	08047X5096	PUITS2	Puits	0,1	0,5		403,106	290,766			RAS	3			Puits équipé d'une pompe manuelle
88		08047X5098	E1	Ouverture dans falaise			0,8	403,059	290,660	72,3		Fermé	2	x	19	Entrée des chais de Château Ausonne
89	78	08047X5098	E2	Ouverture dans falaise	0,3	0,4		403,017	290,665			Bouché	2			Ancienne ouverture murée et munie d'une fenêtre
90		08047X5098	PUITS1	Puits				403,042	290,682	79,9			2	x	22	Puits avec grande verrière dans les vignes
91		08047X5098	PUITS2	Puits				403,056	290,690	79,3			2	x	23	Puits dans les vignes Chateau Ausonne ayant servi de silo
92		08047X5099	E1	Ouverture dans falaise		2,1	3,1	402,923	290,589	73,5		Libre	2	x	25	Entrée en pied de falaise dans zone dépôt d'ordures
93	76	08047X5099	E2	Ouverture dans falaise	0,8	1,1		402,890	290,622			RAS	1			Accès par quelques marches à une petite cave indépendante
94		08047X5099	PUITS1	Puits				402,955	290,610	79,6			2	x	27	Puits équipé d'une éolienne dans les vignes
95		08047X5099	PUITS2	Puits				402,947	290,567	74,1			3	x	28	Accessibilité non assurée
96	77	08047X5100	E1	Ouverture dans falaise	3,5	1,6	2,1	402,900	290,628	79,0		Libre	1	x	24	Entrée petite cave (habitation troglodyte) en bordure vignoble
97		08047X5100	E2	Ouverture dans falaise			3,1	402,913	290,627	79,6		Libre	1	x	23	Entrée petite cave (habitation troglodyte) en bordure vignoble
98		08047X5100	E3	Ouverture dans falaise				402,917	290,632	78,0			1			Entrée petite cave (habitation troglodyte) en bordure vignoble
99		08047X5100	E4	Ouverture dans falaise				402,929	290,631	78,0			1			Entrée petite cave (habitation troglodyte) en bordure vignoble
100		08047X5100	E5	Ouverture dans falaise		1,7	1,7	402,934	290,635	78,8		Libre	1	x	22	Entrée petite cave (habitation troglodyte) en bordure vignoble
101		08047X5100	E6	Ouverture dans falaise		2,2	2,7	402,943	290,644	78,4		Libre	1	x	21	Entrée petite cave (habitation troglodyte) en bordure vignoble
102		08047X5100	E7	Ouverture dans falaise		2,7	2,5	402,950	290,652	77,9		Libre	1	x	20	Entrée petite cave (habitation troglodyte) en bordure vignoble
103	159	08047X5101	E1	Ouverture dans falaise	0,8	2	2,5	402,748	290,601	73,3		Fermé	1	x	35	Portail en bois donnant accès au chai de la SCI La Magdelaine
104		08047X5101	E2	Ouverture dans falaise				402,768	290,583	78,0			1			Portail du chai SCI La Magdelaine
105		08047X5102	E1	Ouverture dans falaise				402,818	290,574	78,0			1			Accès cave de M. Penchaud (à l'intérieur hangar)
106		08047X5102	E2	Ouverture dans falaise				402,798	290,570	75,3		Fermé	1	x	34	Accès cave de M. Penchaud (à l'intérieur hangar)
107	67	08047X5102	E3	Ouverture dans falaise	1,2	1,7		402,811	290,570	76,1		Fermé	1	x	33	Accès cave de M. Martin, fermé par une porte en bois
108		08047X5102	E4	Ouverture dans falaise			1,2	402,829	290,574	74,3			1	x	32	Accès cave de M. Martin
109	69	08047X5102	E5	Ouverture dans falaise	0,4	0,3		402,785	290,575			Bouché	1			Fenêtre fermée par barreaux métalliques
110	184	08047X5103	E1	Ouverture dans falaise	3	1,8		402,812	290,496	74,0		RAS	3			Entrée bouchée au bord de la route bétonnée de Château Belair
111	186	08047X5103	E2	Ouverture dans falaise	2	1,8		402,818	290,488	74,0		RAS	3			Entrée bouchée au bord de la route bétonnée de Château Belair
112		08047X5103	E3	Ouverture dans falaise				402,765	290,504	73,0		Fermé	3		42	Entrée fermée par un portail grillagé, en pied de falaise
113		08047X5103	E4	Ouverture dans falaise				402,742	290,520	73,0		Fermé	3		41	Entrée fermée par un portail grillagé, en pied de falaise

114	71	08047X5103	E5	Porte	0,8	2		402,768	290,500			RAS	3			Entrée fermée par une porte en bois
115	72	08047X5103	E6	Ouverture dans falaise	3,5	2	3,0	402,777	290,486	66,1		Libre	3	x	44	Accès ouvert au bord de la route bétonnée conduisant à Château Belair
116	74	08047X5103	E7	Ouverture dans falaise	3	2		402,760	290,510			RAS	3			Ouverture donnant sur un entrepôt de matériel agricole
117	75	08047X5103	E8	Ouverture dans falaise	4	1,8	3,9	402,742	290,531	66,5		Fermé	3	x	43	Accès principal chai Clos La Madeleine, portail métallique
118	68	08047X5103	E9	Porte	1,9	0,8		402,784	290,545			Bouché	3			Porte en bois donant accès à une remise
119	183	08047X5103	E10	Ouverture dans falaise	3,5	2,1	4,0	402,798	290,480	65,4		Libre	3	x	45	Ouverture en pied de falaise, végétation abondante
120	185	08047X5103	E11	Ouverture dans falaise	4,5	1,8		402,810	290,485			RAS	3			Ouverture bouchée par remblai de terre (charrette à l'entrée)
121	187	08047X5103	E12	Ouverture dans falaise	2,5	3,5	2,7	402,678	290,580	66,7		Fermé	3	x	37	Entrée fermée par un portail grillagé, en pied de falaise
122		08047X5103	E13	Ouverture dans falaise			1,8	402,686	290,574	66,8		Fermé	3	x	38	Entrée fermée par un portail grillagé, en pied de falaise
123		08047X5103	E14	Ouverture dans falaise			1,9	402,727	290,548	67,9		Fermé	3	x	39	Entrée fermée par un portail grillagé, en pied de falaise
124		08047X5103	E15	Ouverture dans falaise			2,8	402,733	290,537	67,6		Fermé	3	x	40	Entrée fermée par un portail grillagé, en pied de falaise
125	70	08047X5103	PUITS1	Puits	1,0	1,1		402,765	290,530	73,8		Bouché	3	x	30	Puits chez M. Lauret. Support d'antenne parabolique
126		08047X5103	PUITS2	Puits				402,834	290,543	74,6			3	x	29	Puits d'eau chez M. Martin
127		08047X5103	PUITS3	Puits				402,760	290,575	74,5			3	x	31	Puits avec margelle dans Chateau SCI Madeleine
128	56	08047X5112	E1	Ouverture dans falaise	2,5	1,5	4,0	402,701	290,666	72,5		Libre	2	x	36	Entrée de cave dans une propriété privée (sous poteau électrique)
129	58	08047X5112	E2	Porte	1,8	2,5	2,6	402,827	290,604	76,4		Fermé	2	x	31	Portail d'accès chai Cadet Bon (+ 2 portes et 3 fenêtres)
130	59	08047X5112	E3	Ouverture dans falaise	2,5	1,1		402,786	290,729			RAS	2			Ouverture avec végétation abondante et quelques éboulis
131	60	08047X5112	E4	Ouverture dans falaise	0,8	1,7		402,779	290,731			RAS	2			Porte en bois mal fermée, stockage de ceps de vigne
132	61	08047X5112	E5	Porte	0,5	1,6	3,4	402,777	290,738	77,6		Libre	2	x	47	Accès ouvert sous un gros surplomb rocheux fissuré
133	62	08047X5112	E6	Ouverture dans falaise	0,4	0,4		402,765	290,736			Libre	2			Fenêtre ouverte
134	63	08047X5112	E7	Porte	1	1,2		402,759	290,739			Libre	2			Accès ouvert à demi masqué par tas de sarments et de piquets de vigne
135	64	08047X5112	E8	Ouverture dans falaise	1,1	0,8	2,8	402,754	290,739	78,9		Libre	2	x	46	Accès ouvert en pied de falaise, au bord du vignoble
136	65	08047X5112	E9	Ouverture dans falaise	6	1,1		402,743	290,741			Bouché	2			Accès bouché par des palettes et des piquets de vigne
137		08047X5112	E10	Ouverture dans falaise				402,882	290,766			Effondré	2		50	Accès partiellement effondré, dans zone de dépôt d'ordures
138		08047X5112	E11	Ouverture dans falaise				402,856	290,755			Effondré	2		48	Accès partiellement effondré, caché par la végétation
139		08047X5112	E12	Ouverture dans falaise				402,865	290,761			Effondré	2		49	Accès partiellement effondré, caché par la végétation
140	57	08047X5112	PUITS1	Puits	1,0	0,4		402,736	290,627	77,0	10	Fermé	4	x	32	Puits fermé par une grille. Derrière le mur en bord de route
141	160	08047X5114	E1	Ouverture dans falaise	3	2,5	1,9	402,899	290,550	73,1		Libre	2	x	27	Portail en bois à côté hangar
142	161	08047X5114	E2	Ouverture dans falaise	2,3	3	3,4	402,864	290,564	72,4		Fermé	2	x	28	Entrée principale chai Belair, fermée par portail métallique
143	162	08047X5114	E3	Porte	0,8	3	3,3	402,855	290,560	72,6		Fermé	2	x	29	Porte en bois donnant accès à petite cave Château Belair
144	163	08047X5114	E4	Porte	0,6	1,2		402,878	290,553			Bouché	2			Porte en bois avec végétation abondante
145	182	XXXXXXXX	BIDO17	Ouverture dans falaise	4	2	4,1	402,998	290,545	65,2		Libre	3	x	26	Entrée en pied de falaise en bordure du vignoble
146	205	XXXXXXXX	BIDO18	Ouverture dans falaise	0,3	0,5		403,111	290,940			Bouché	2			Grille en façade de maison
147		XXXXXXXX	BIDO19	Porte			4,2	403,087	290,753	73,0		Fermé	2	x	16	Portail garage M. Bortolussi
148		XXXXXXXX	BIDO20	Porte			4,0	403,087	290,724	72,7		Fermé	2	x	17	Porte cave de M. Deminière
149		XXXXXXXX	BIDO21	Porte				402,859	290,549			Fermé	2		30	Porte d'accès au cuvier de Château Belair