



Ministère de l'Industrie,
de la Poste et des
Télécommunications



Méthodologie de détection des cavités souterraines en Haute-Normandie par les méthodes géophysiques

Etude réalisée dans le cadre :
- des actions de Service Public du BRGM 97-H-021
- du programme de Recherche et Développement du BRGM PRD207

Juin 1997
R 39567



Mots clés : Géophysique, microgravimétrie, méthodes électriques, sismique haute résolution (SASW), marnières, karst, Haute-Normandie, France

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

(1997) - Méthodologie de détection de cavités souterraines en Haute-Normandie par méthodes géophysiques. Rap. BRGM R39567 .

© BRGM, 1997 : ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

Synthèse

Les travaux entrepris au sein des actions de Service Public et de Recherche et Développement du BRGM sont cofinancés par le Ministère de l'Environnement et le Conseil Régional de Haute-Normandie.

Les actions principales ont été les suivantes :

- La sélection d'une marnière pour le test de différentes méthodes géophysiques. La marnière choisie se situe à Saint-Gilles-de-la-Neuville (Seine-Maritime).
- La réalisation d'une campagne de microgravimétrie sur la marnière de Saint-Gilles-de-la-Neuville.
- La modélisation des résultats pour différentes méthodes géophysiques : microgravimétrie, sismique haute résolution, panneaux électriques, radar géologique. Pour chaque méthode, la modélisation est suivie de la présentation des travaux de terrain prévus.
- L'analyse critique de la bibliographie.

Les travaux restant à réaliser sont :

- La topographie détaillée du réseau souterrain de la marnière de Saint-Gilles-de-la-Neuville (prévue durant l'été).
- Le déploiement des campagnes d'acquisition pour les méthodes autres que la gravimétrie sur le site de Saint-Gilles-de-la-Neuville (prévu en septembre).
- La synthèse et l'interprétation des données recueillies, suivies de l'établissement du rapport définitif d'étude (réunion de bilan prévue en décembre 1997).

Sommaire

Synthèse	3
1. Introduction	6
2. Contexte géologique haut-normand	7
2.1. Généralités	7
2.2. Les marnières	7
3. La géophysique : un moyen d'investigation des vides souterrains	9
3.1. Généralités	9
3.2. Place de la géophysique	9
3.3. Intérêt spécifique de la géophysique	10
4. Sélection d'une marnière-test	12
4.1. Critères de sélection	12
4.2. Environnement géologique de Saint-Gilles-de-la-Neuvville	12
4.3. La marnière de la Grande Rue	18
4.4. Autres marnières du secteur	19
5. Modélisation des méthodes géophysiques	21
5.1. Objectif	21
5.2. La microgravimétrie	21
5.2.1. Généralités	21
5.2.2. Application dans le contexte haut-normand	21
5.3. La sismique haute résolution	22
5.3.1. Généralités	22
5.3.2. Application dans le contexte haut-normand	23
5.3.3. Conclusion provisoire	26
5.3.4. Une nouvelle technique : la SASW	26
5.4. Les panneaux électriques	27
5.4.1. Généralités	27
5.4.2. Application dans le contexte haut-normand	28
5.5. Le radar géologique	32
5.5.1. Généralités	32
5.5.2. Application dans le contexte haut-normand	32
6. Campagne de microgravimétrie	36
6.1. Méthode	36
6.2. Résultats	36
7. Conclusion	38

Bibliographie succincte	39
Expérience du BRGM en matière de géophysique appliquée	40

Liste des figures

Figure 2.1. Carte géologique succincte de la Haute-Normandie	8
Figure 3.1. Place de la géophysique parmi les autres méthodes de connaissance ou de reconnaissance des cavités souterraines	10
Figure 4.1. Localisation générale du pays de Caux à 1/100 000	14
Figure 4.2. Extrait du cadastre de Saint-Gilles-de-la-Neuville	15
Figure 4.3. Les cavités souterraines dans le secteur de Saint-Gilles-de-la-Neuville.....	16
Figure 4.4. Coupe du sondage B.S.S. n°75.5.30 de Saint-Gilles-de-la-Neuville	17
Figure 4.5. Recensement des indices d'effondrement (hiver 1994-1995)	20
Figure 5.1. Modèle de vitesses sismiques (3 couches).....	24
Figure 5.2. Résultats de la modélisation sismique (3 couches).....	25
Figure 5.3. Résultats de la modélisation sismique (sans couche superficielle).....	26
Figure 5.4. Panneaux électriques : premier modèle	29
Figure 5.5. Panneaux électriques : second modèle.....	29
Figure 5.6. Panneaux électriques : résultat de la modélisation (premier modèle).....	30
Figure 5.7. Panneaux électriques : résultat de la modélisation (second modèle)	31
Figure 5.8. Modèle d'une cavité affectant un encaissant carbonaté	33
Figure 5.9. Résultat de la réponse radar en amplitude : cavité dans un encaissant carbonaté	33
Figure 5.10. Modèle d'une cavité affectant un encaissant carbonaté surmonté d'une couche argileuse	34
Figure 5.11. Résultat de la réponse radar en amplitude : cavité dans un encaissant carbonaté, surmonté d'une couche argileuse	34
Figure 6.1. Saint-Gilles-de-la-Neuville : Campagne de mesures microgravimétriques. Résiduelle microgravimétrique d'ordre 2	37

1. Introduction

La pluie centennale du 16 juin 1997 et les inondations de la fin du mois de juin ont été suivies de l'ouverture de très nombreuses cavités souterraines, notamment à Allouville-Bellefosse Eslettes, Hattenville, Houppesville, Mont-Saint-Aignan, Roumare, Sainte-Marie-des-Champs, Saint-Jean-du-Cardonnay, Yébleron, pour ne citer que les événements actuellement à notre connaissance¹. L'eau est le facteur déclenchant par excellence, car elle lessive le remplissage des cavités qui est soutiré en direction des vides souterrains. Comme durant l'hiver 1994-1995, le phénomène n'épargne aucun canton du pays de Caux, car les marnières sont omniprésentes.

Devant l'impossibilité de repérer la plupart des marnières par l'observation directe du terrain, il s'avère nécessaire de développer les méthodes de prospection indirecte. Les méthodes géophysiques sont, pour certaines d'entre-elles, déjà éprouvées. La microgravimétrie est la méthode la plus fréquemment mise en œuvre, mais son taux de succès est loin d'être satisfaisant. D'autres méthodes sont en cours de développement : radar géologique, sismique haute résolution, etc.

Les travaux entrepris par le BRGM ont pour objectif de contribuer à la mise au point de méthodes de prospection par géophysique au sol. Ces méthodes ont pour finalité la détection et la cartographie des cavités souterraines (du type marnière) présentes en Haute-Normandie.

Le test des méthodes géophysiques doit être confronté aux caractéristiques très spécifiques du sous-sol haut-normand. En effet, l'épaisse couche de limons et d'argiles constitue un voile opaque pour certains signaux géophysiques

¹Texte rédigé le 27 juin 1997

2. Contexte géologique haut-normand

2.1. GÉNÉRALITÉS

Le substrat géologique de la Haute-Normandie – à l'exception notable de la boutonnière du pays de Bray – est composé de terrains du Crétacé supérieur (Fig. 2.1). Ces terrains sont de nature crayeuse, c'est-à-dire formés presque exclusivement de carbonate de calcium (CaCO_3). L'histoire géologique postérieure au dépôt de la mer de la Craie² a conduit à la mise en place, dans certains secteurs, de poches de sables éparses (notamment les sables pliocènes dits de Lozère). L'altération superficielle de la craie a formé une couche d'argiles à silex quasi continue sur les plateaux. L'épaisseur de ces argiles à silex varie communément de 0 à 30 m. Au Quaternaire, des loess (ou limons des plateaux) ont recouvert l'ensemble de la région, mais de manière plus hétérogène³ et généralement avec des épaisseurs inférieures à celles des argiles à silex (0 à 10 m).

Dans une topographie souvent vallonnée mais toujours molle, la recherche des matériaux utiles – pierres de construction, sable pour les mortiers, chaux pour l'agriculture, fer pour la sidérurgie, etc. – a été confrontée à la rareté des affleurements. Elle s'est alors concrétisée par la réalisation de travaux souterrains : carrières de pierre de construction parfois gigantesques (Caumont, etc.), sablières, silexières, argilières, ferrières (ou minières) et bien sûr marnières. En Haute-Normandie, ces dernières sont les plus typiques, car elles sont de loin les plus répandues et les plus nombreuses.

Les marnières sont souvent associées à des phénomènes karstiques (entonnoirs de dissolution de la craie, fracturation guidant la karstification, etc.). Contrairement aux marnières, les bétouilles sont d'origine naturelle ; elles sont aussi très répandues. Elles constituent des petits gouffres (avens) qui se relient, en profondeur, à des conduits d'écoulement karstique.

2.2. LES MARNIÈRES

Les marnières sont des petites carrières souterraines destinées à l'extraction de la "marne", c'est-à-dire la craie que les agriculteurs recherchaient pour chauler leurs terres. En dehors des principales vallées permettant une extraction sur les coteaux, les habitants des grands plateaux crayeux (pays de Caux, Neubourg, etc.) ont pris jadis l'habitude de foncer des puits au travers de la couverture de limons et d'argiles à silex – voire parfois de terrains tertiaires – afin d'atteindre la craie.

La profondeur des marnières peut varier de 10 à 50 m, voire davantage, tout dépendant de la profondeur de l'altération superficielle, de la nature de la craie et des conditions

²Nom donné en paléogéographie à la mer épicontinentale qui a occupé la France du Nord-Ouest pendant quelque 20 millions d'années.

³ Il convient de rappeler le rôle de l'orientation des vents et de la topographie dans l'accumulation des loess.

hydrogéologiques (nécessité de ne pas être ennoyé sous la nappe d'eau). Le type de craie semble avoir joué un rôle majeur, les carrières utilisant souvent un lit de silex comme toit de leur exploitation et recherchant une craie grasse et humide⁴. Une fois le bon niveau atteint, les exploitants traçaient des galeries – parfois sur plusieurs étages – et aménageaient des chambres voûtées parfois pourvues de piliers.

Le recours à l'amendement calcaire des terres agricoles est mentionné dans les récits relatant la guerre des Gaules. La pratique de cette coutume⁵ s'est poursuivie jusqu'à l'époque actuelle, mais les craies sont désormais prélevées dans des carrières ou des affleurements à ciel ouvert.

L'extraction de la marne à partir des marnières a connu un grand développement entre la Révolution et le Second Empire, époque à laquelle ont été rédigés les principaux textes régissant ce type d'exploitation. Au début du XXe siècle, la réglementation devenant par trop contraignante eu égard à leur intérêt économique, le fonçage des marnières a cessé.

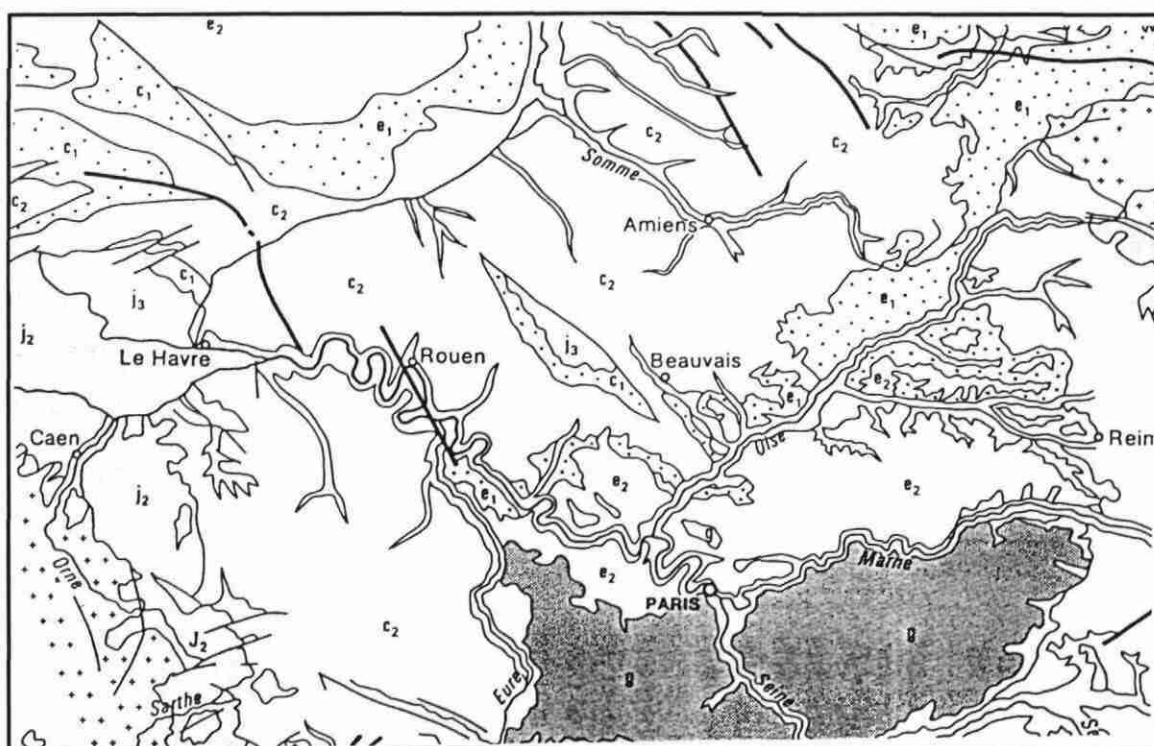


Figure 2.1. Carte géologique succincte de la Haute-Normandie (d'après carte à 1/1 000 000, repris par Dercourt, 1997⁶)

c₁ : Crétacé inférieur ; c₂ : Crétacé supérieur ; e₁ : Eocène inférieur ; e₂ : Eocène supérieur ; g : Oligocène ; j₂ : Jurassique inférieur ; j₃ : Jurassique supérieur.
Le recouvrement tertiaire et quaternaire n'est pas représenté.

⁴Ce qui a sans doute, dans le passé, contribué au développement des marnières au détriment des carrières à ciel ouvert.

⁵En 1486, l'archevêque de Rouen oblige même les fermiers à amender ses terres proches de Gaillon (Dubuc, 1973).

⁶ Dercourt J. (1997). Géologie et Géodynamique de la France. Dunod, 2e cycle.

3. La géophysique : un moyen d'investigation des vides souterrains

3.1. GÉNÉRALITÉS

La géophysique est une science qui a pour but d'appliquer les méthodes de la physique à la connaissance de la Terre. Les caractéristiques physiques de la Terre peuvent être intrinsèques aux différentes enveloppes liquides ou solides qui la constituent ou résulter de son action à distance : champ magnétique, champ gravitationnel, par exemple. L'étude géophysique est réalisée à partir de la détection de signaux de nature électrique, magnétique, gravimétrique ou sismique.

La plupart des méthodes d'approche globale de la Terre peut être mis en œuvre à l'échelle du terrain. Il s'agit alors de déployer au sol un dispositif d'acquisition et d'enregistrement des différents signaux physiques. Dans leur ensemble, les méthodes géophysiques s'avèrent très dépendantes des conditions locales : topographie, humidité du sol, formations géologiques superficielles, altération du sol et du sous-sol, etc.

3.2. PLACE DE LA GÉOPHYSIQUE

Les méthodes géophysiques sont dites indirectes, car elles permettent la reconnaissance de caractéristiques physiques sans contact direct avec les objets géologiques qui les produisent (Fig. 3.1). La télédétection est aussi une méthode indirecte, car elle permet l'acquisition de données (électromagnétiques) à partir de vecteurs aéroportés ou satellitaires. La photographie aérienne, par exemple, est un outil indispensable dans toute approche à l'échelle locale.

La connaissance de vides souterrains peut être acquise par les données bibliographiques dont le degré de précision n'est pas homogène. La toponymie – notamment à partir des cartes topographiques plus ou moins anciennes – peut être utilisée avec succès : dans la région du Neubourg (Eure) par exemple, de très nombreux noms de lieux évoquent la présence d'anciennes fosses ou carrières pour marne. Les cartes géologiques à 1/80 000 sont riches en indication sur les anciennes marnières⁷. De même, les cartes hydrogéologiques apportent des indications sur les bétaires ou puits naturels⁸. Les archives communales, départementales, notariales, etc, sont également riches en information relative aux déclarations de travaux (XIXe siècle). La localisation précise et la géométrie réelle des marnières étudiées par cette source documentaire sont souvent difficiles à connaître.

⁷D'après Guillope (1987), près de 400 anciens puits d'extraction sur la Haute-Normandie peuvent être recensés, sans doute peu au regard du nombre réel il est vrai.

⁸La aussi, Guillope (1987) mentionne près de 400 indices de bétaires pour les deux départements haut-normands.

Les rapports techniques des bureaux d'étude et des organismes d'État dédiés aux travaux d'équipement et de connaissance du sol et du sous-sol représentent une source d'informations dispersée, souvent difficilement accessible, mais particulièrement précieuse. Les travaux autoroutiers⁹ ont représenté, dans la période récente, la principale source d'information.

L'examen direct, sur le terrain, même en l'absence de tout puits de marnière, peut permettre de supposer la présence d'un vide souterrain : existence d'effondrement, de tassement différentiel, voire présence de végétation naturelle (arbres) dans un secteur agricole, de traces laissées dans la topographie autour des puits (accumulation de produits d'extraction), etc.

Lorsque le simple indice fait place à une bonne certitude de présence, les reconnaissances mécaniques peuvent permettre de dégager la tête de puits. Si un accès direct est possible, alors l'examen par caméra, voire la visite directe de la cavité doit s'imposer, dans la mesure où les conditions de sécurité peuvent être assurées.

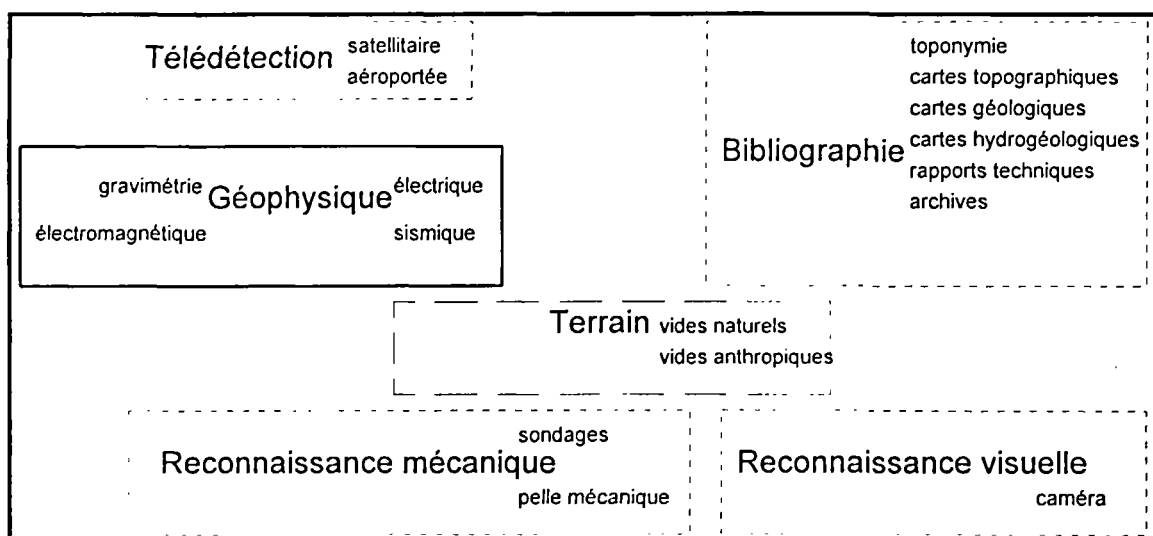


Figure 3.1. Place de la géophysique parmi les autres méthodes de connaissance ou de reconnaissance des cavités souterraines.

3.3. INTÉRÊT SPÉCIFIQUE DE LA GÉOPHYSIQUE

La reconnaissance des cavités souterraines par géophysique est un thème classique, abondamment développé dans ses aspects les plus appliqués par les bureaux d'étude

⁹ A 29 dans le pays de Caux, A 28 dans le pays de Bray et l'est du pays de Caux, construction de l'axe Tôtes-Dieppe – A 27 –, A 154 dans l'Eure.

spécialisés, notamment sur le tracé des voies ferrées, des travaux routiers ou l'emplacement des grands ouvrages d'infrastructure.

De nombreux événements liés à l'instabilité du sous-sol se sont produits durant les dernières années¹⁰, mais cette préoccupation n'est pas récente¹¹. Toutefois, les implications modernes, notamment en termes d'urbanisme, de responsabilité des collectivités locales et d'indemnisation des catastrophes naturelles (loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 modifiée) tendent à rendre plus aigu le problème de la détection des vides cachés et souvent oubliés, voire inconnus.

La mise en évidence des marnières par les méthodes de géophysique de surface n'est pas un problème simple, car le volume de ces anciennes exploitations est souvent faible au regard des profondeurs concernées¹². Dans le cas général, les marnières n'engendrent pas de désordres dans le proche sous-sol susceptibles de fournir une signature géophysique précise et significative. L'effondrement reste souvent un phénomène soudain. Les méthodes géophysiques nécessitent alors d'être calibrées dans les conditions particulières de l'environnement de la Haute-Normandie : présence d'argiles à silex, de craie altérée et karstifiée, quasi-absence d'un réseau hydrographique aérien, etc.

La méthode de prospection par microgravimétrie est, jusqu'à présent, la plus utilisée. Néanmoins, les réponses du champ de gravité dans des zones potentiellement affectées par des vides souterrains ne sont pas univoques : des anomalies de densité peuvent correspondre à des variations de composition lithologique (poches de sable par exemple), alors que des vides de faibles volumes – ce qui est généralement le cas des têtes de puits – ne sont pas nécessairement détectés.

D'autres méthodes et éventuellement la combinaison de plusieurs d'entre-elles, peuvent s'avérer fructueuses là où la microgravimétrie a pu échouer.

¹⁰On peut citer : l'ouverture de centaines de cavités lors des inondations de 1994-1995 en Haute-Normandie, l'affaissement d'anciennes mines de fer à Auboué en Lorraine, le tassement de terrain suite au foudroyage de carrières souterraines en région parisienne (par exemple dans la forêt de l'Hautil), l'effondrement de diverses cavités (marnières, puits filtrants, bétoures, anciennes fosses, etc.) au cours de l'événement pluvieux centennal du 16 juin 1997 entre Rouen et Yvetot.

¹¹A la fin du XIXe siècle, un salon de coiffure fut englouti dans un fontis boulevard Saint-Michel à Paris.

¹²Dubuc (1973) considère qu'en moyenne une marnière fournissait 400 m³ de "marne" pour amendement.

4. Sélection d'une marnière-test

4.1. CRITÈRES DE SÉLECTION

La recherche d'une cavité expérimentale doit répondre aux critères suivants :

- accessibilité ;
- possibilité de cartographie ;
- profondeur moyenne (entre 20 et 30 mètres) ;
- extension suffisante (présence de chambres et de galeries) ;
- situation en zone rurale à semi-rurale, afin de tester la méthode en zone sensible ;
- si possible, avoir des informations de la part du puisatier.

Ces premiers critères pris en compte, d'autres critères doivent être considérés lors de la mise en œuvre des différentes méthodes géophysiques :

- contexte géologique précis de la cavité (altération karstique, etc.) ;
- nature lithologique précise de la succession des terrains ;
- présence d'habitations ;
- accessibilité du site et de ses abords (les mesures géophysiques débordent de plusieurs dizaines de mètres de part et d'autres de la cavité) ;
- possibilité d'y réaliser les mesures (type de végétation, champs, culture, forêts) ;
- présence de routes, clôtures métalliques, talus, etc. ;
- présence d'objets métalliques dans le sol ;
- localisations des réseaux souterrains ou aériens : canalisations, lignes EDF, etc.

Après examen de plusieurs possibilités, le choix s'est porté sur le secteur de Saint-Romain-de-Colbosc.

4.2. ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE DE SAINT-GILLES-DE-LA-NEUVILLE

La marnière sélectionnée est située¹³ dans le quartier ouest (la Grande Rue) de Saint-Gilles-de-la-Neuville, sur le canton de Saint-Romain-de-Colbosc¹⁴. Ce secteur est localisé dans le Bec de Caux, à l'ouest du plateau du pays de Caux, à 15 km au nord-est du Havre (Fig. 4.1)

¹³Ses coordonnées Lambert I sont : X = 210150, Y = 1457275, Z = 115 (NGF).

¹⁴Des compléments d'information aux données géologiques succinctes qui suivent pourront être obtenus dans l'ouvrage de référence : Les formations superficielles de Saint-Romain (pays de Caux). Leur contribution à l'étude morphologique de la région, par Jean-Pierre Lautridou (1968), Ed. Assoc. Publ. Fac. Lettres et Sci. hum. Univ. Caen, 199 p.

Madame Hacher, Maire de Saint-Gilles-de-la-Neuville, et Monsieur Marcotte, propriétaire de la parcelle (n°275, fig. 4.2) ont été consultés avant toute prise de décision. Des discussions fructueuses avec Monsieur Paillette, puisatier ayant jadis travaillé au confortement du puits à la demande de Me Pierre Chatelin, notaire à Saint-Romain-de-Colbosc, ont permis d'entériner le choix définitif de cette manière.

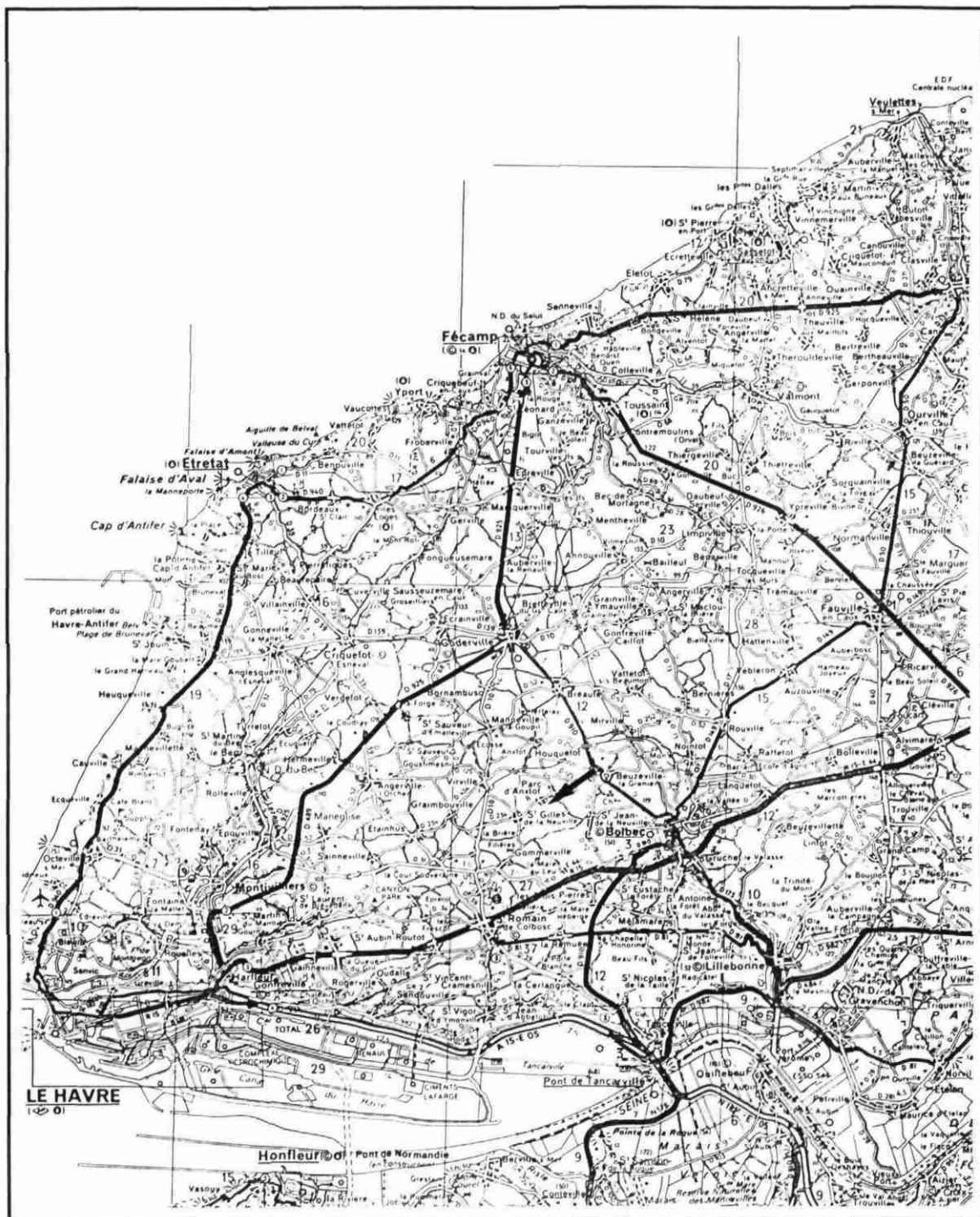


Figure 4.1. Localisation générale du pays de Caux.

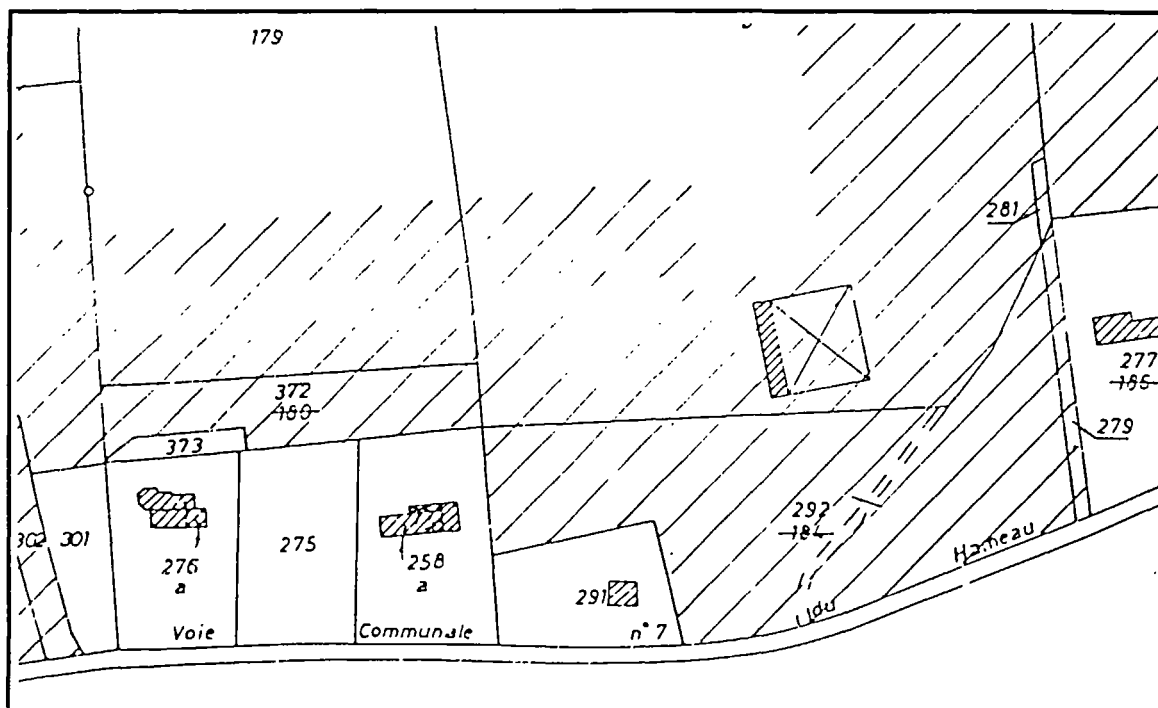


Figure 4.2. Extrait du cadastre de Saint-Gilles-de-la-Neuville.

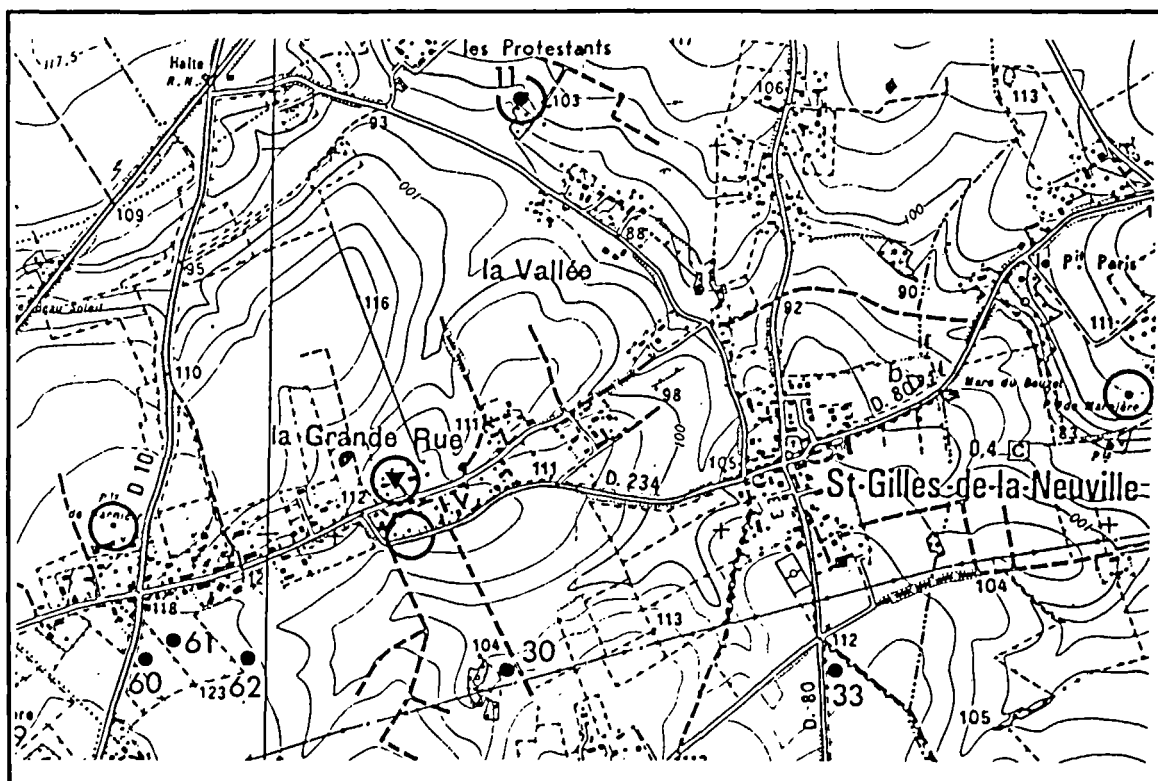


Figure 4.3. Les cavités souterraines dans le secteur de Saint-Gilles-de-la-Neuville.
Points : sondages B.S.S. ; cercles : marnières ; cercle avec triangle central : marnière étudiée.

Située en zone semi-rurale, mais sur un terrain non bâti (en herbe), la marnière est localisée à environ 40 m de la voie communale n°7 du Hameau de la Grande Rue, dans l'angle nord-est de la parcelle (Fig. 4.2). Elle est aussi à quelques dizaines de mètres au sud de l'axe d'une vallée sèche.

D'un point de vue géologique, d'après les cartes géologiques à 1/50 000¹⁵, les données extraites de la Banque de Données du Sous-Sol (B.S.S. détenue et gérée par le BRGM) et les observations de terrain, le hameau de la Grande Rue est localisé sur un secteur du plateau crayeux à recouvrement limoneux (*limons des plateaux*) et argileux (*argiles à silex*). Les travaux réalisés pour la construction de l'autoroute A 29 – qui passe à 500 m au sud du hameau – permettent de connaître précisément le contexte géologique de ce secteur du canton de Saint-Romain-de-Colbosc.

L'épaisseur de la couverture limoneuse est comprise entre 2,2 m (sondage B.S.S. 75.5.33, point 33, fig. 4.3) et 6,4 m (sondage B.S.S. 74.8.61, point 61, fig. 4.3). Les valeurs semblent sensiblement plus fortes à l'ouest (plus de 6 m à l'ouest de la Grande Rue et à la Brière sur la commune d'Étainhus, sondages B.S.S. 74.8.59 à 62, points 59 à 62, fig. 4.3) qu'au sud immédiat de Saint-Gilles-de-la-Neuville (sondage B.S.S. 75.5.33, point 33, fig. 4.3). Les sondages complémentaires réalisés pour la cartographie à 1/50 000 indiquent une épaisseur de 6 m de limons au sud du point 33 (point a, fig. 4.3) et de 4,8 m près de la Mare du Beuzet, à l'est de Saint-Gilles-de-la-Neuville (point b, fig. 4.3). Ces variations d'épaisseur s'expliquent par une position plus ou moins exposée au flux d'alimentation en matière loessique, en provenance du nord ou du nord-est. La composition des limons révèle une composante sableuse vers le haut de la formation et une nature plus argileuse à la base (points 59, 61 et 62).

Sous les limons, des argiles résultant de la décalcification de la partie supérieure de la craie offrent un faciès rouge et compact, riche en silex (*argiles* ou *résidus à silex*) vers la base. La composition des argiles de décalcification est variable du bas en haut de la formation. Un sondage SOPENA (données inédites BRGM) réalisé en 1992 pour la A 29 indique, sous 3,5 m de limons, un premier membre composé d'argiles jaunâtres de 8,5 m d'épaisseur, auquel succède vers le bas un second membre épais de 8 m au moins – la craie n'ayant pas été atteinte – formé d'argiles à silex.

La topographie de la base des argiles à silex est toujours très irrégulière, car il s'agit d'une ancienne surface d'altération. L'épaisseur de ces argiles est difficile à préciser et peu de sondages ont recoupé l'ensemble de la formation. Une valeur minimale de 7,8 m peut être indiquée dans la partie ouest du secteur (point 60, fig. 4.3.). Un ouvrage ayant atteint la craie sous les argiles à silex (sondage B.S.S. 75.5.33, point 33, fig. 4.3.) donne précisément la même épaisseur soit 7,8 m. Cependant, des épaisseurs nettement plus fortes peuvent être observées. Ainsi, au sondage 75.5.30 (point 30, fig. 4.3. et fig. 4.4.), la craie n'est rencontrée qu'à 28 m, sous un faciès encore très riche en argile brune, ce qui signifie que le toit réel de la craie est sans doute sensiblement plus bas.

¹⁵ Montivilliers-Étretat (n°74, 1968, Ed. BRGM) et Bolbec (n°75, 1969, Ed. BRGM)

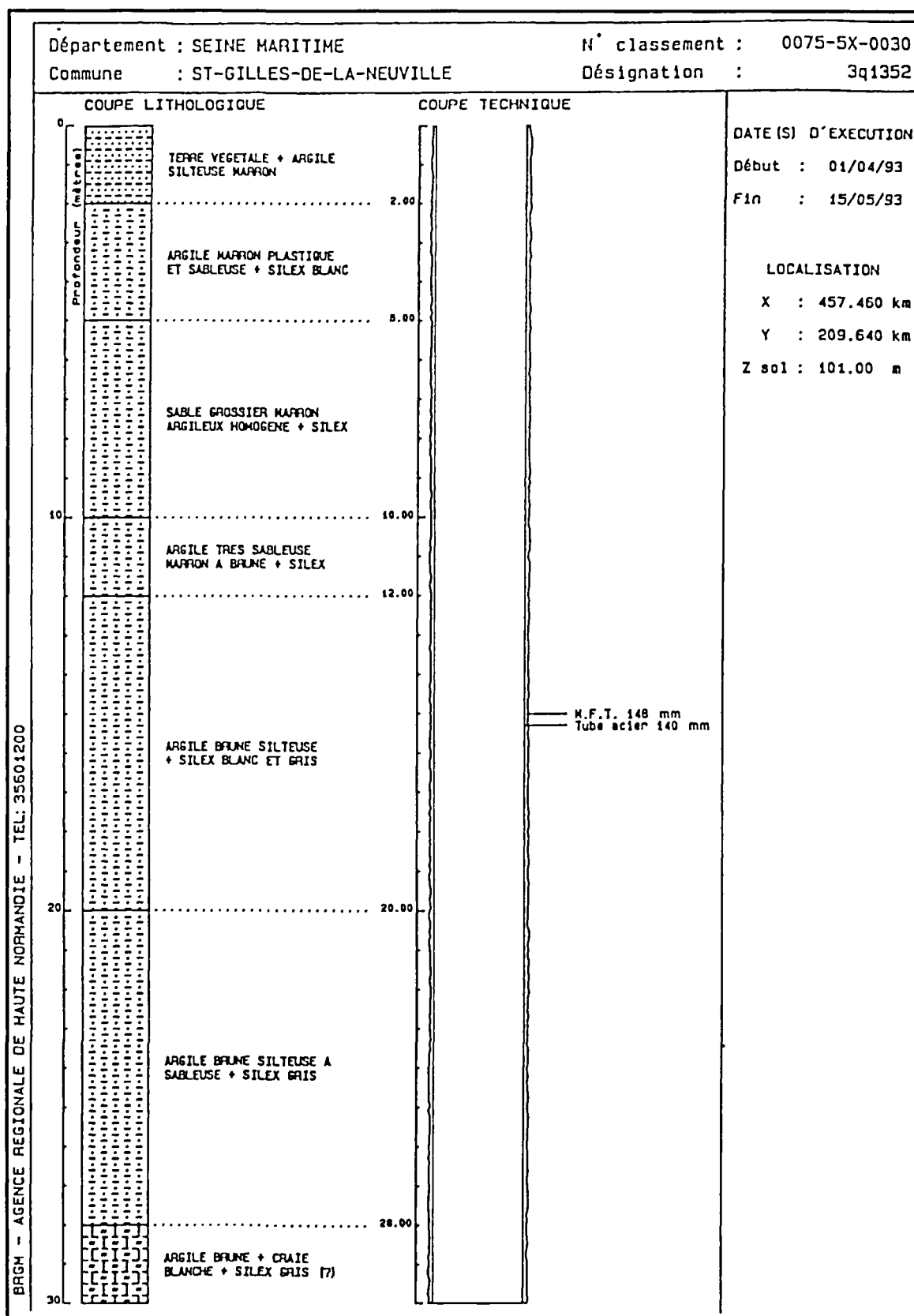


Figure 4.4. Coupe du sondage B.S.S. n°75.5.30 de Saint-Gilles-de-la-Neuville.

Sous les formations de recouvrement, la " marne " rencontrée est la craie sénonienne d'âge probablement santonien. Il s'agit d'une craie blanche riche en silex. Il semble exister deux familles principales de profondeur du toit de la craie : dans l'une, l'épaisseur des différentes formations au-dessus de la craie est de l'ordre de 8 m ; dans l'autre, cette épaisseur est plutôt de l'ordre de 30 m. Dans ce second cas, la présence de dépôts tertiaires – en plus des limons mais généralement sans argiles à silex – est fréquente : la carte géologique à 1/80 000 les signale à l'est de Saint-Gilles-de-la-Neuville (ancien toponyme *Blérillot*), à Graimbouville, ainsi qu'à Angerville-l'Orcher ; dans cette dernière localité, les dépôts tertiaires ont été recoupés par le sondage B.S.S. 74.8.21, le toit de la craie étant à 40 m sous le sol.

D'un point de vue hydrogéologique, le secteur est localisé à environ 50 m au-dessus du toit de la nappe de la craie, c'est-à-dire à la cote +65 m NGF¹⁶. Il convient de noter l'importance du développement des bétouilles dans la région de Saint-Gilles-de-la-Neuville comme dans celle de Graimbouville, au nord-ouest¹⁷. Ces bétouilles servent en partie à l'évacuation des eaux pluviales : Rue de l'Enfer, la Vallée, etc. L'existence de circulations karstiques a été démontrée entre ces bétouilles et la nappe qui s'écoule en direction de la Vallée du Commerce et des sources de Radicatel.

4.3. LA MARNIÈRE DE LA GRANDE RUE

La marnière possède une cheminée verticale de 8,20 m dont la paroi est tapissée de silex qui empêchent toute perception de la limite entre les limons et les argiles. La profondeur du puits est de 31 m, des galeries s'ouvrant dans la craie sénonienne. Le toit de la craie, très irrégulier, remonte localement à environ 9 m du sol. Des argiles rouges remplissant les poches karstiques sont rencontrées dans la marnière. Un secteur correspondant à l'amoncellement de " terres rouges " pourrait résulter du déversement de ces terres lors du comblement d'un ancien fontis¹⁸ au siècle dernier (MM. Paillette et Marcotte, *comm. orale*).

Une descente de reconnaissance a été effectuée le 12 décembre 1996 après information auprès de la préfecture de la Seine-Maritime, de la sous-préfecture du Havre et des mairies de Saint-Gilles-de-la-Neuville et de Saint-Romain-de-Colbosc. Des représentants des mairies étaient présents le jour de l'inspection de la marnière, de même que des hommes de la brigade des sapeurs-pompiers du Lieutenant Ozenne (Le Havre). L'ouverture du puits a nécessité de désceller un capot en béton.

¹⁶ Atlas hydrogéologique de la Seine-Maritime, 1991, Ed. BRGM, Conseil Général Seine-Maritime, Agence de l'Eau Seine-Normandie.

¹⁷ Assainissement des deux communes du syndicat de Saint-Romain-de-Colbosc. Avis de l'hydrogéologue agréé. Juin 1988, rapport 88 GA 11, 11 p.

¹⁸ Affaissement en surface dû à l'effondrement d'un vide souterrain.

Avant toute descente, les sapeurs-pompiers ont pratiqué des mesures du taux en gaz nocifs et en oxygène. Les valeurs obtenues ont permis d'autoriser la descente, l'aération de la marnière semblant tout à fait satisfaisante.

La base de la cheminée s'ouvre en bouteille à partir de 9 m jusqu'à 31 m. La cavité présente des salles de hauteur décamétrique. Les galeries, quant à elles, ont des hauteurs de l'ordre de 2 m. Des zones de toit effondrées sont visibles par endroit. Le tracé topographique préliminaire¹⁹ indique que la cavité passe sous une partie de la maison située sur le terrain voisin (n°258, fig. 4.2).

4.4. AUTRES MARNIÈRES DU SECTEUR

Il existe très probablement un grand nombre de marnières sur la commune de Saint-Gilles-de-la-Neuville. Deux d'entre-elles sont cartographiées sur le fond topographique à 1/25 000 (carte Bolbec, 1810 Ouest) : l'une au nord-ouest de l'intersection des CD 10 et 234, l'autre à l'est de Saint-Gilles-de-la-Neuville, au Petit Paris (toponyme *Bois de la Marnière*).

À quelques dizaines de mètres au sud de la marnière sélectionnée, une autre ancienne exploitation de marne nous a été signalée par M. Paillette. La Banque de Données du Sous-Sol possède la description sommaire d'une autre marnière aux Protestants, au nord-ouest de Saint-Gilles-de-la-Neuville (point B.S.S. 75.5.11, point 11, fig. 4.3), dont la profondeur du puits est de 29,10 m. Un ancien puits d'extraction est localisé sur la carte géologique à 1/80 000 (Yvetot-Le Havre-Saint-Valery, n°19, 1965, Ed. BRGM) à proximité du château de Filières (au sud de la Rue de la Chouette, *hors de la fig. 4.3*).

La prospection aérienne systématique, réalisée en avril et mai 1995 pour les Services de la Protection Civile²⁰, constitue un inventaire exhaustif des désordres de surface apparus durant l'hiver 1994-1995. Dans le secteur de Saint-Gilles-de-la-Neuville, cinq indices de désordre ont été localisés le long de la voie ferrée Rouen-Le Havre (secteur d'Anxtot-Virville au nord de la Grande Rue), ainsi que deux autres indices isolés : l'un à la Brière et l'autre dans le parc du château de Filières. Ces indices ne correspondent pas nécessairement à d'anciennes marnières (Fig. 4.5).

L'examen des photographies aériennes des missions régulières de l'IGN (Institut Géographique National) permet également de suggérer la présence de plusieurs bétouilles, mares et indices d'anciennes extractions²¹.

¹⁹La cartographie détaillée de la marnière devrait être réalisée dans le courant de l'été avec l'aide d'une équipe spécialisée du GRIMP.

²⁰Interventions 1995 " Assistance à la Protection Civile " du Service Géologique Régional de Haute-Normandie. Rapport BRGM R 38 717.

²¹Analyse des photographies des campagnes 1973 et surtout 1985 – 76 IFN 85, clichés 771 à 773.

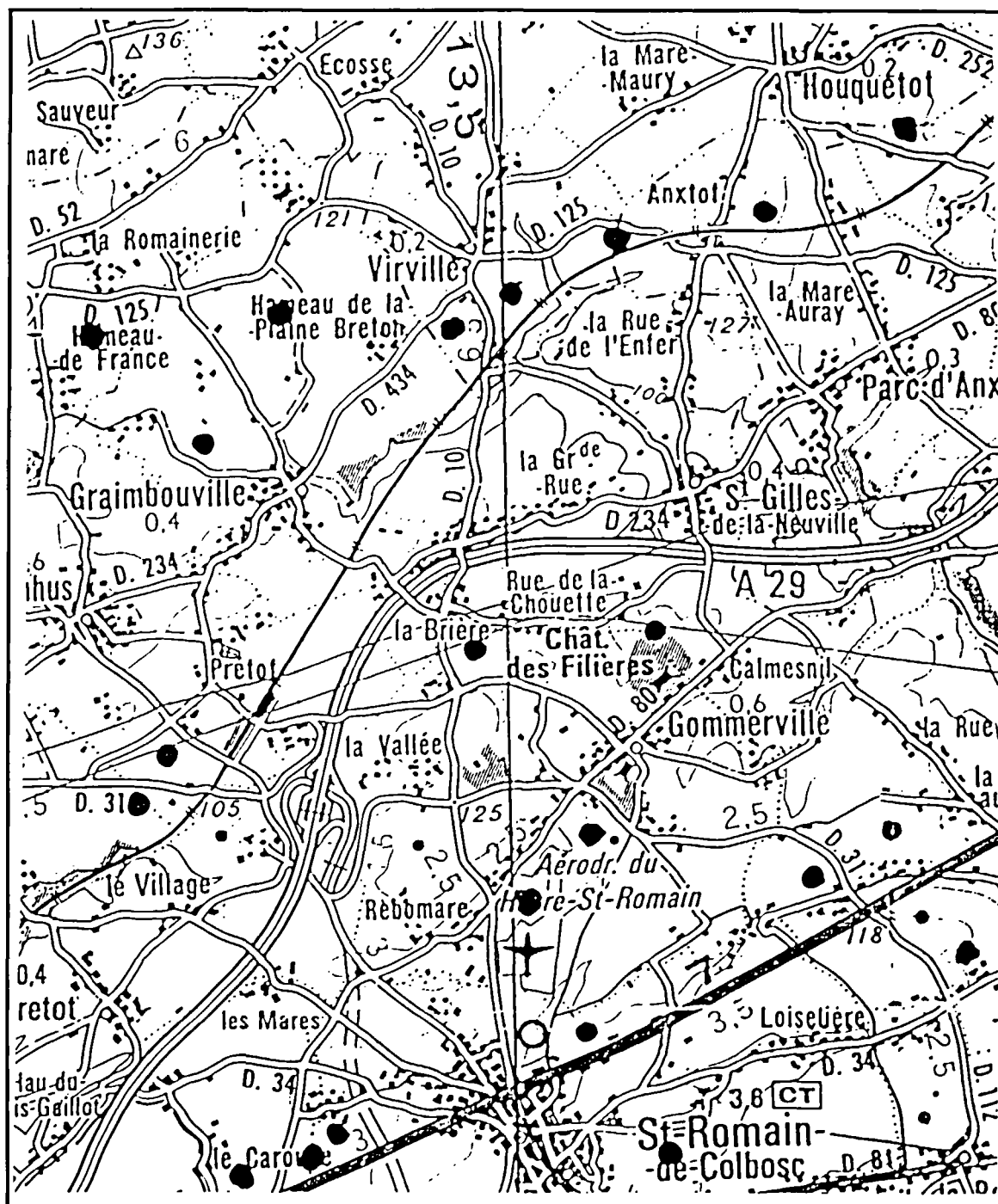


Figure 4.5. Recensement des indices d'effondrement (hiver 1994-1995)

5. Modélisation des méthodes géophysiques

5.1. OBJECTIF

La modélisation a pour but d'évaluer les performances attendues d'une méthode donnée, en considérant un certain nombre de paramètres standard du système que l'on se propose d'étudier. Elle doit permettre d'optimiser la réalisation pratique des mesures sur le terrain : choix de l'appareillage nécessaire, degré de précision attendu, adaptation aux conditions réelles de l'expérimentation, etc.

5.2. LA MICROGRAVIMÉTRIE

5.2.1. Généralités

Cette méthode repose sur la mesure de la valeur relative de la gravité à la surface du sol en vue d'établir une répartition des densités dans le proche sous-sol. Puisque les marnières créent un déficit de densité par rapport aux terrains encaissants, cette méthode est *a priori* adaptée pour la détection des vides souterrains.

5.2.2. Application dans le contexte haut-normand

Pour un contraste de densité de 2 – c'est-à-dire pour une cavité hors d'eau dans un encaissant peu compacté – on peut théoriquement détecter un vide de 8 m de diamètre, situé à environ 10 m de profondeur. Si la cavité est remplie d'eau – et présente donc un contraste de densité moins important – son diamètre devra être de 11 m pour que l'on puisse la détecter dans les mêmes conditions.

Pour mieux fixer les idées, on peut citer à titre d'exemple qu'une cavité typique de 50 m d'extension dont le toit se situe à 20 m de profondeur, et dont la hauteur de vide est de 4 m, va produire une anomalie gravimétrique de 100 μgal pour un contraste de densité de 2. Une anomalie de cette ampleur peut être détectée par un gravimètre de type Lacoste Romberg dont la précision est de l'ordre de 10 μgal . Cependant, il faut également tenir compte du fait que d'autres facteurs perturbant, tels que le bruit de fond géologique²², vont réduire le seuil de détection des anomalies.

Des ambiguïtés sur l'interprétation d'une anomalie gravimétrique sont toujours possibles. Par exemple, une même anomalie gravimétrique de 80 μgal peut être créée : soit par une cavité de 20 m de diamètre située à 10 m de profondeur pour un contraste de densité 2, soit par une zone sableuse répartie depuis la surface jusqu'à 20 m de profondeur.

²² Effet gravifique dû à la variation de la nature lithologique du sous-sol, particulièrement des niveaux superficiels.

D'autres paramètres vont intervenir dans la capacité de la méthode à détecter un vide, en particulier le pas de mesure. Par exemple, un puits profond de 25 m et de 10 m de diamètre – cas purement théorique –, va produire une anomalie gravifique de 100 μgal , mais sur une très petite distance (environ 2 m). Ceci a pour conséquence de lui ôter toute chance d'être détectée au cours d'une campagne de mesures où la maille descend rarement en-dessous de 5 m.

5.3. LA SISMIQUE HAUTE RÉOLUTION

5.3.1. Généralités

Les méthodes d'exploration sismique consistent à provoquer des ébranlements dans le sous-sol et à observer en surface les ondes réfléchies sur les couches géologiques ou réfractées le long de certaines interfaces (limites entre couches de nature lithologique différente). La profondeur d'investigation est de quelques mètres à plusieurs dizaines de kilomètres (géophysique interne).

L'avantage de la sismique réflexion par rapport aux autres méthodes géophysiques est son pouvoir de résolution. Celui-ci dépend de la longueur d'onde dominante du signal créé par la source sismique. Le développement de sources capables de créer des signaux de très hautes fréquences (jusqu'à 1500 Hz) a augmenté considérablement la résolution de la sismique. La longueur d'onde dominante d'une onde sismique est donnée par la relation (1) :

$$(1) \quad l = v / f$$

où l est la longueur d'onde, v la vitesse des ondes sismiques dans le milieu et f la fréquence des ondes sismiques enregistrées.

L'épaisseur minimale d'une couche (cavité) dont on peut distinguer le toit et le mur est la limite de résolution. L'expérience montre qu'elle est de l'ordre de $l/4$. Par exemple, pour une vitesse du sous-sol de 1000 m/s et une fréquence dominante de 250 Hz, cette limite est de l'ordre de 1 m. Dans ces conditions, une cavité d'épaisseur inférieure à 1 m ne pourra être distinguée.

D'un point de vue général, la présence d'une cavité souterraine peut engendrer sur un enregistrement sismique les phénomènes suivants :

1. La réflexion sur le toit de la cavité : elle se produit lorsque les dimensions du vide sont plus grandes que la limite de résolution de la sismique.

2. La résonance : elle peut affecter soit la cavité proprement dite, soit les terrains qui la surmontent. On peut montrer que la fréquence de résonance d'une cavité cylindrique dans un milieu homogène est proportionnelle à la vitesse de propagation des ondes de cisaillement et inversement proportionnelle au diamètre de la cavité.

$$(2) \quad f = v_s / 1.55D$$

où f est la fréquence de résonance, v_s la vitesse de cisaillement, D le diamètre de la cavité.

Toutefois, la relation (2) doit être utilisée avec précaution lorsque le milieu dans le quel est incluse la cavité est hétérogène.

3. Une perturbation et une atténuation de l'amplitude des arrivées relatives aux géophones situées au-dessus de la cavité : l'énergie transmise à travers une cavité et réfléchiée par une interface plus profonde sera plus atténuée que l'énergie réfléchiée par la même interface qui ne traverse pas la cavité. Une zone d'ombre est alors observée sur l'enregistrement sismique.

4. La théorie de l'élasticité : elle démontre que les ondes de cisaillement ne se propagent pas dans les fluides et dans l'air.

5.3.2. Application dans le contexte haut-normand

En se fondant sur des résultats antérieurs, il nous a été possible d'en déduire un modèle préliminaire de vitesse dans le proche sous-sol de la Haute-Normandie (Fig. 5.1). La distribution des vitesses est la suivante :

- Couche superficielle limoneuse (épaisseur 4 à 6 m) : $V_p = 600$ m/s.
- Couche d'argiles à silex : $V_p = 1400$ m/s.
- Craie : $V_3 = 2000$ m/s .

La cavité modélisée se situe à 20 m de profondeur ; son extension latérale est de 10 m pour une épaisseur de vide de 6 m. Son toit se situe à l'interface entre les argiles à silex et la craie. Dans ces conditions, une modélisation sismique par équation d'ondes acoustiques a été réalisée. À ce stade, il convient de noter que dans ce type de modélisation, les phénomènes d'atténuation et de dispersion des ondes sismiques n'ont pas été pris en compte. L'influence de ces phénomènes se traduit dans les signaux par une perte en amplitude des ondes sismiques reçues et par un décalage de leurs spectres vers les basses fréquences. En conséquence, les résultats des modélisations présentées ici constituent des cas plus favorables que ce qu'ils seraient si on avait tenu compte de ces implications physiques.

Le dispositif d'acquisition sélectionné repose sur un tir au centre du dispositif comprenant lui-même 50 traces espacées de 1 m. La fréquence maximale supposée reçue est de 250 Hz. La figure 5.2 présente les résultats de cette modélisation, avec en abscisse la distance et en ordonnée le temps double exprimé en secondes).

On observe une arrivée directe très énergétique. La première réflexion sur le toit de la couche d'argiles à silex se situe à environ 18 ms, suivie par une deuxième réflexion sur le toit de la cavité à 37 ms. On remarque que cette réflexion présente une amplitude très faible par rapport à toutes les autres. Il faut noter également que nous n'avons pas tenu compte du bruit sismique ni des phénomènes d'ondulation de l'interface argiles-craie. Dans la réalité, ces phénomènes accentueront les perturbations des enregistrements et en compliqueront l'interprétation.

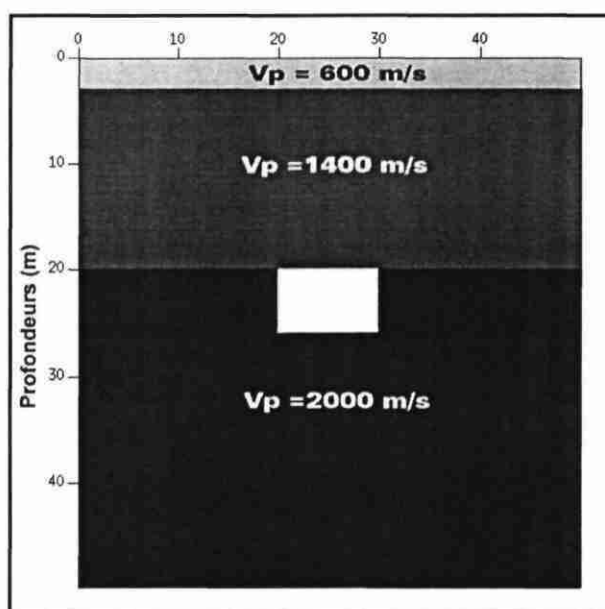


Figure 5.1. : Modèle de vitesses sismiques (3 couches)

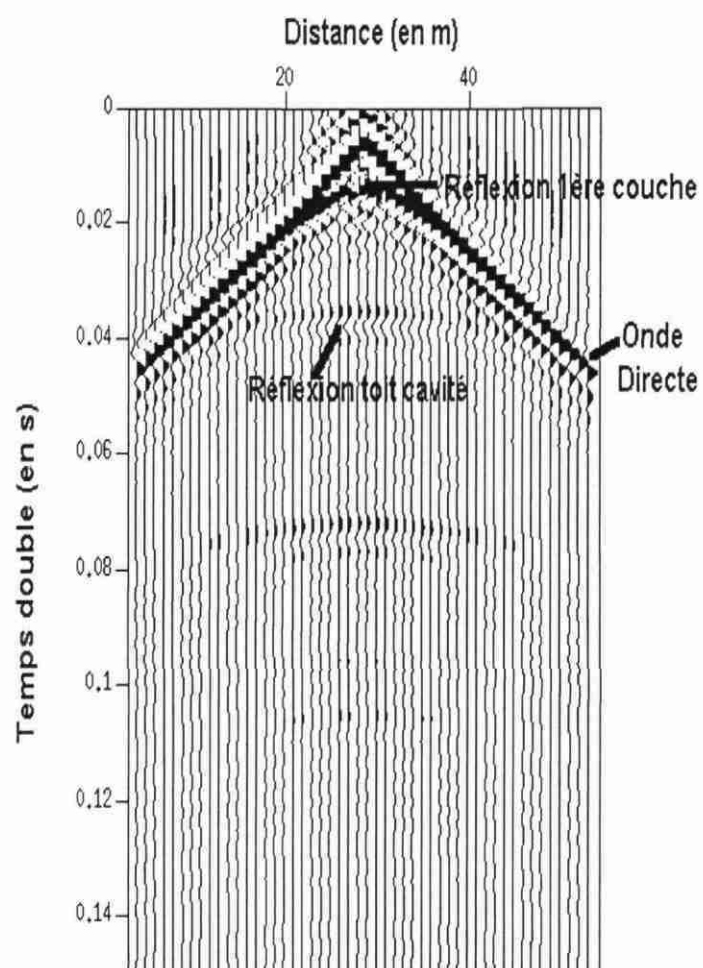


Figure 5.2. : Résultats de la modélisation sismique (3 couches)

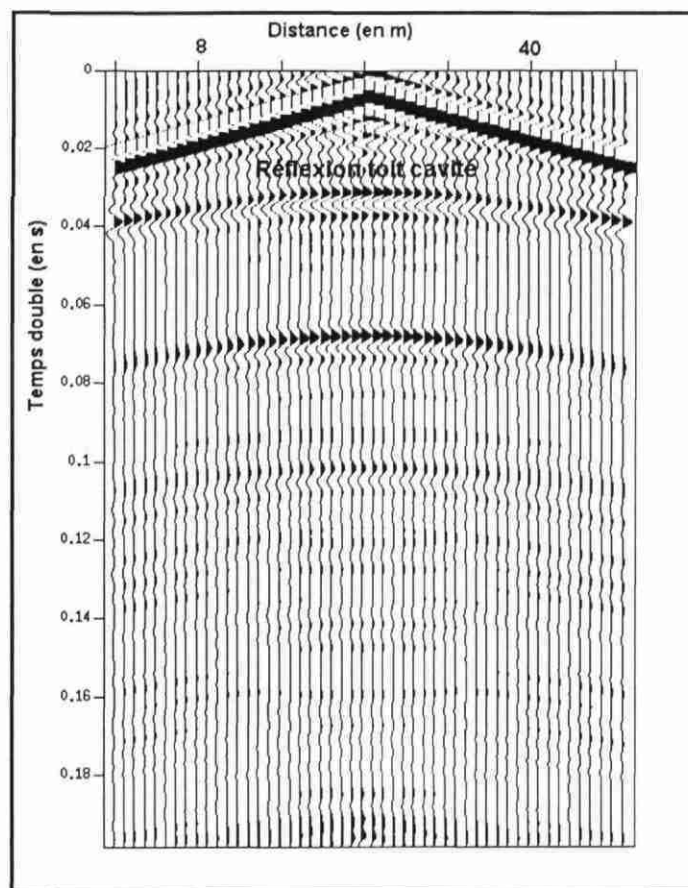


Figure 5.3. : Résultats de la modélisation sismique (sans couche superficielle)

Par contre, dans une autre configuration qui ne considère pas de couche à faible vitesse en surface, les résultats indiquent que la réflexion sur le toit de la cavité est tout à fait observable (Fig. 5.3).

5.3.3. Conclusion provisoire

Les résultats (cf *supra*) montrent qu'il s'avèrera assez délicat d'utiliser la sismique haute résolution dans le contexte géologique de la Haute-Normandie. Néanmoins, un profil-test sur la manière de Saint-Gilles-de-la-Neuville sera entrepris pour confirmer ou infirmer les premiers résultats issus des seules modélisations.

5.3.4. Une technique nouvelle : la SASW

Dans le cadre de son programme de recherche et développement, le BRGM pilote un projet d'étude de la dispersion des ondes sismiques de surface²³. L'objectif de ce projet est le développement d'une technique non destructive, rapide et de faible coût qui

²³ En anglais cette méthode est dénommée "Spectral Analysis of Surface Waves (SASW)"

permet d'évaluer le module de rigidité au cisaillement des sols et des roches. Le principe physique de cette technique repose sur le caractère dispersif des ondes de surface (en l'occurrence les ondes de Rayleigh). Le terme " dispersion " signifie que la vitesse des ondes dépend de la longueur d'onde – c'est-à-dire également de la fréquence. Ainsi, des ondes de fréquences différentes vont se propager à des vitesses différentes. Au cours d'une campagne de sismique réflexion, les ondes de surface sont en général considérées comme des bruits et sont éliminées par le traitement. Pourtant, ces ondes ont la propriété de se propager à des vitesses dépendant du profil vertical de rigidité. On voit donc l'intérêt potentiel de cette méthode pour une détection de cavité dans le sous-sol. De plus, la mise en œuvre sur le terrain, bien que très voisine de celle qui est utilisée en sismique réflexion, est beaucoup plus aisée.

Au stade de développement actuel, nous n'avons pas les moyens de modéliser la réponse de cette méthode pour des objets géologiques à 3 dimensions (3D), tels que les cavités. La modélisation est limitée aux milieux tabulaires à 2 dimensions (2D). Cependant, du fait d'une relative rapidité de mise en œuvre de la SASW, il est intéressant de déterminer, au moins d'un point de vue qualitatif, les capacités de détection d'une cavité et d'observer l'influence de vides sur les courbes de dispersion des ondes de Rayleigh. On se propose donc de tester cette technique sur la manière actuellement sélectionnée, lors de la réalisation d'un profil de sismique réflexion qui est programmé pour la fin septembre.

5.4. LES PANNEAUX ÉLECTRIQUES

5.4.1. Généralités

La méthode par panneaux électriques permet de réaliser une coupe de résistivité en profondeur le long d'un profil. Le dispositif de mesure est celui d'un pôle-pôle.

La mise en œuvre consiste à mesurer, en une électrode de potentiel M, le potentiel créé par un pôle d'injection de courant continu A, pour différentes combinaisons de position d'électrodes A et M, le long d'un dispositif composé de plusieurs électrodes réceptrices. Les électrodes de retour de courant B, et de référence de potentiel N, sont placées à grandes distances – environ 500 m de part et d'autre du dispositif – afin que leur effet soit constant sur le dispositif. Les mesures converties en résistivités apparentes sont présentées sous forme de pseudo-coupes de résistivité apparente, en fonction de l'écartement entre les électrodes A et M qui est une fonction croissante de la profondeur d'investigation.

5.4.2. Application dans le contexte haut-normand

Deux modélisations en 2D ont été réalisées. Pour ces deux modèles, un écartement minimal entre électrodes de 5 m a été considéré, pour un profil long de 200 m. Dans les deux cas (Figures 5.4 et 5.5), nous avons pris en compte une cavité située à 30 m de profondeur dans de la craie de résistivité 100 Ω .m, d'épaisseur 5 m, et d'extension latérale 100 m. Pour le premier modèle, une couche d'argiles à silex de résistivité 70 Ω .m et de 20 m d'épaisseur a été considérée. Pour le second, la résistivité a été considérée égale à 20 Ω .m.

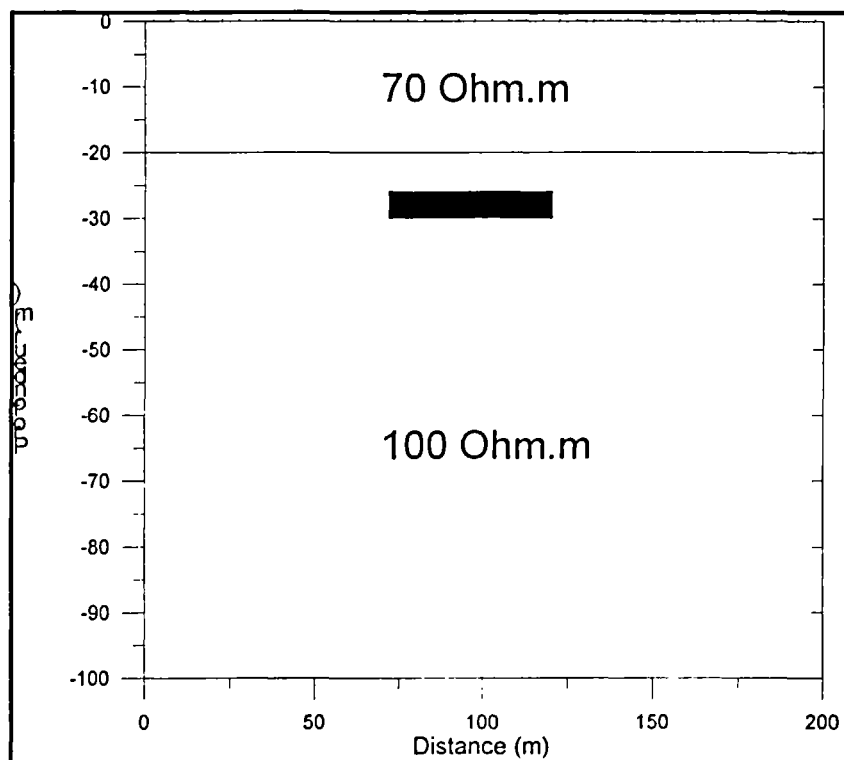


Figure 5.4 : Panneaux électriques : premier modèle.

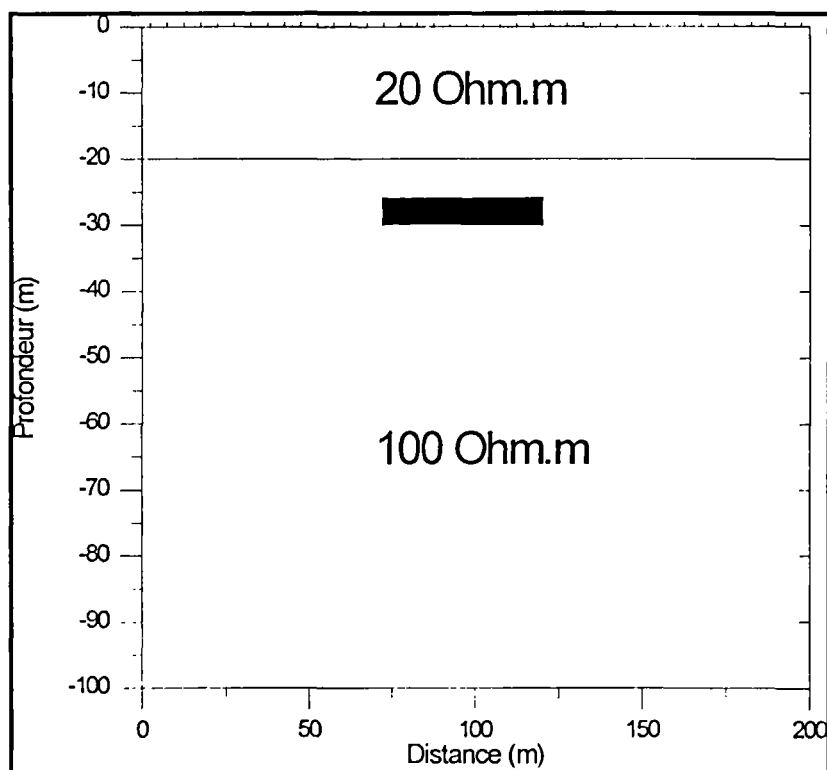


Figure 5.5 : Panneaux électriques : second modèle.

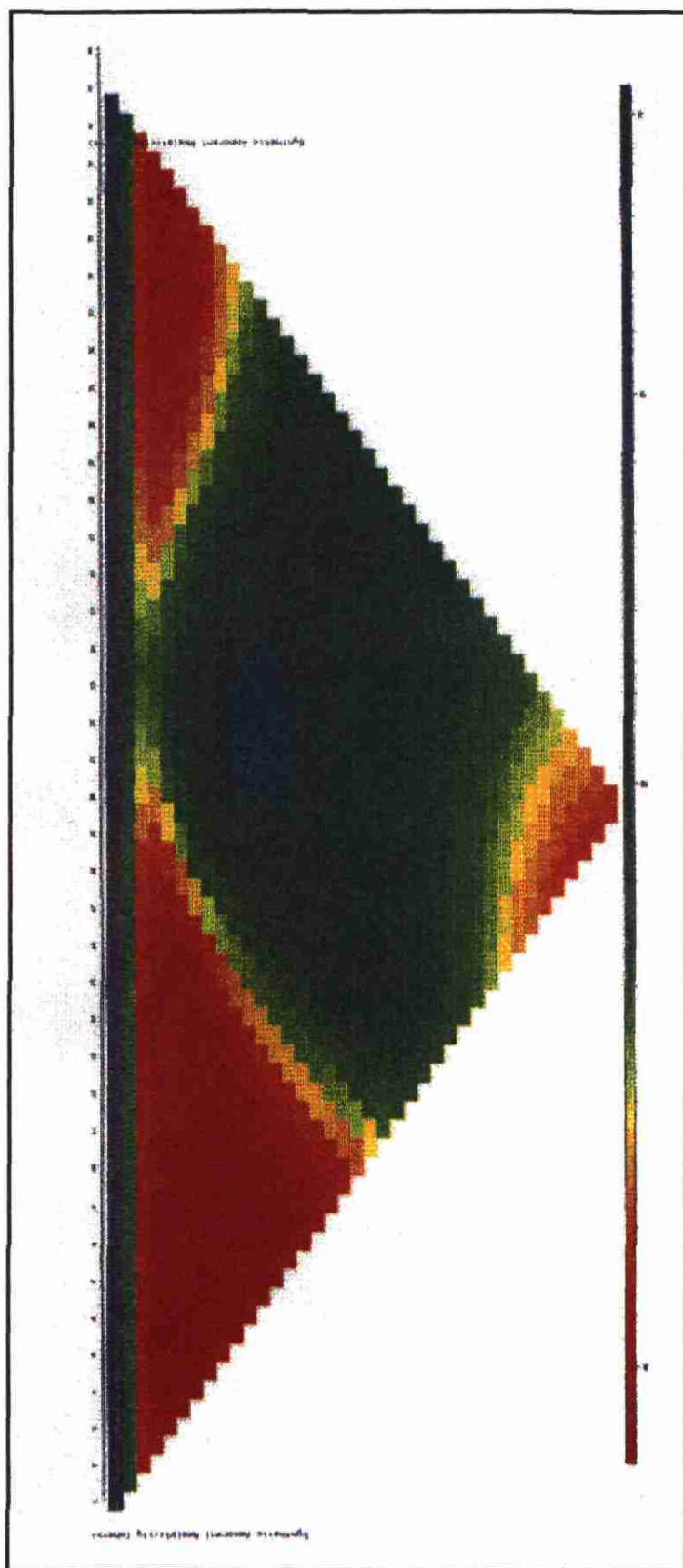


Figure 5.6. : Panneaux électriques : résultat de la modélisation (premier modèle).

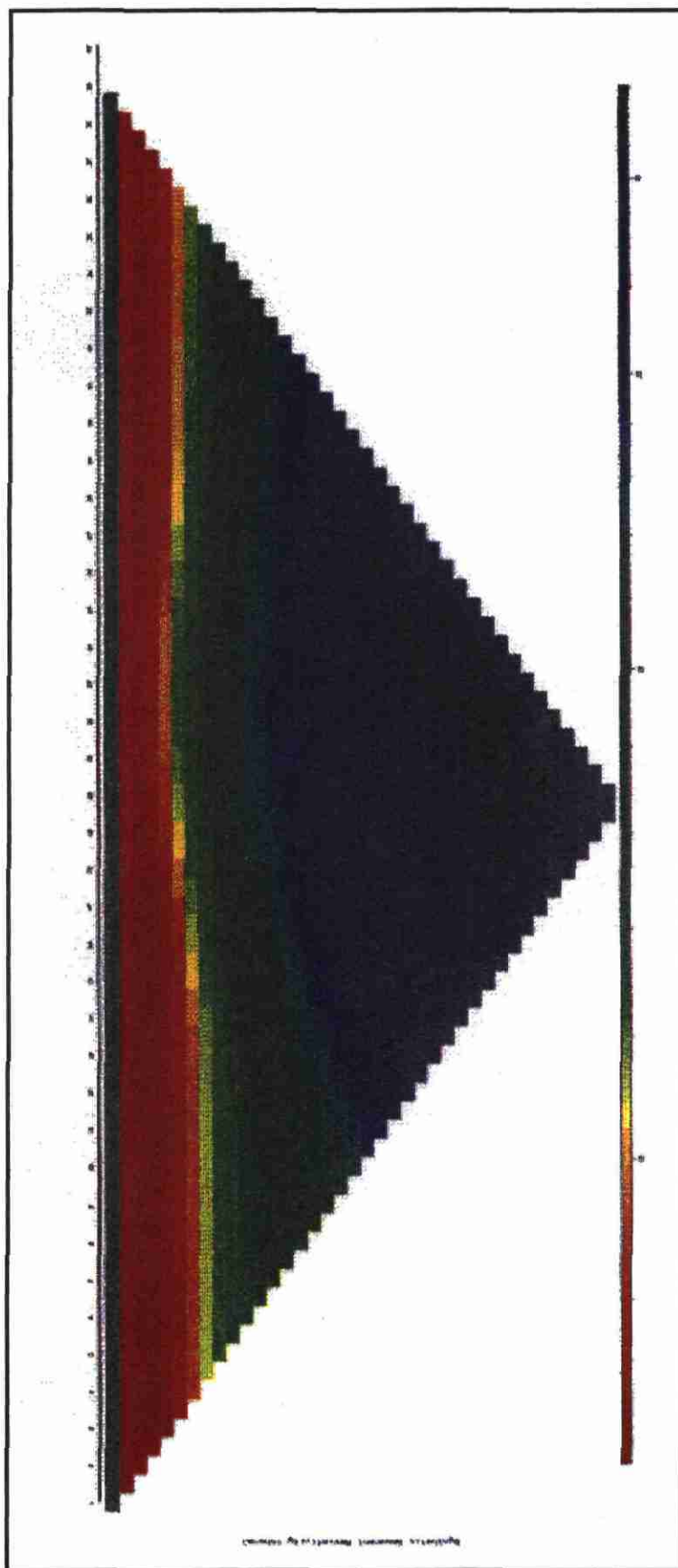


Figure 5.7. : Panneaux électriques : résultat de la modélisation (second modèle).

Les résultats de la première modélisation montrent une augmentation assez significative de la résistivité au niveau de la cavité modélisée (Fig. 5.6). Un cas intermédiaire considérant une cavité de mêmes caractéristiques, dans un environnement homogène à 50 $\Omega.m$, montre également que cette cavité peut-être détectée (non illustré). Par contre, dans le cas d'un horizon superficiel plus conducteur, la cavité n'est absolument plus détectée (Fig. 5.7).

Les résultats de la technique des panneaux électriques appliquée dans l'environnement géologique de la Haute-Normandie seront très sensibles aux caractéristiques électriques réelles du site à étudier, ainsi qu'à leurs variations. Une expérimentation sur la marnière de Saint-Gilles-de-la-Neuville est programmée pour le mois de septembre.

5.5. LE RADAR GÉOLOGIQUE

5.5.1. Généralités

Le radar géologique peut être un outil très performant pour détecter les cavités souterraines. Cette méthode est également utilisée depuis une dizaine d'années dans de nombreux domaines d'application, tels que le génie civil, l'hydrogéologie et l'environnement. Son principal avantage consiste en une mise en œuvre relativement rapide permettant parfois une interprétation qualitative immédiate sur le terrain.

Dans son principe de mise en œuvre, la méthode utilise un émetteur qui crée des ondes électromagnétiques de hautes fréquences (plusieurs centaines de mégahertz) dans le sous-sol. Une antenne réceptrice est déplacée à la surface du sol, soit continûment, soit à intervalles réguliers. Elle est chargée d'enregistrer les ondes électromagnétiques réfléchies en fonction du temps. Les performances du radar géologique varient selon les paramètres diélectriques du milieu, de la taille de la cavité, de sa profondeur, etc. Afin de mieux cerner l'étendue de ses possibilités, nous avons procédé à une modélisation représentant schématiquement la configuration pouvant être rencontrée en Haute-Normandie.

5.5.2. Application dans le contexte haut-normand

Le modèle est constitué d'une cavité de 5 m de diamètre, dont le toit est situé à une profondeur de 20 m dans un encaissant homogène carbonaté (Fig. 5.8). Nous avons également testé le modèle avec une couche d'argiles de 5 m au-dessus de l'encaissant (Fig. 5.10). Les paramètres diélectriques du modèle sont les suivants :

Terrain	Permittivité	Facteur d'atténuation Q
Encaissant carbonaté	6	50
Recouvrement argileux	15	5

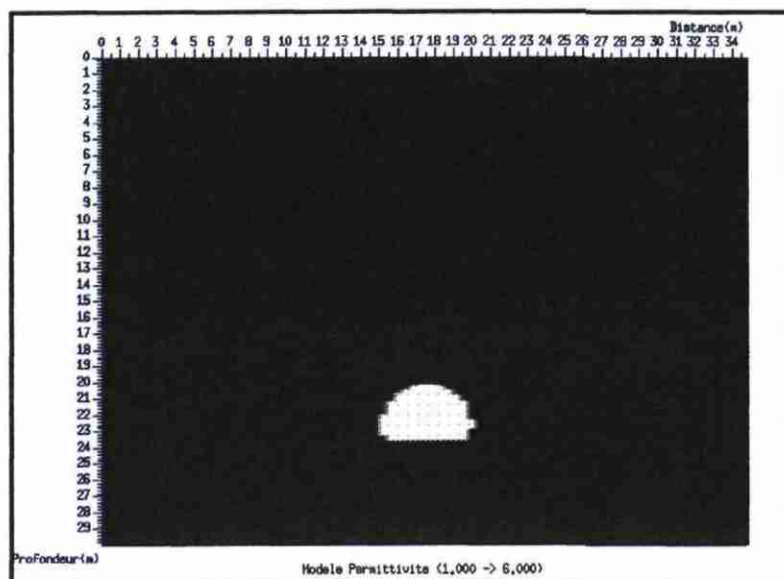


Figure 5.8 : Modèle d'une cavité affectant un encaissant carbonaté.

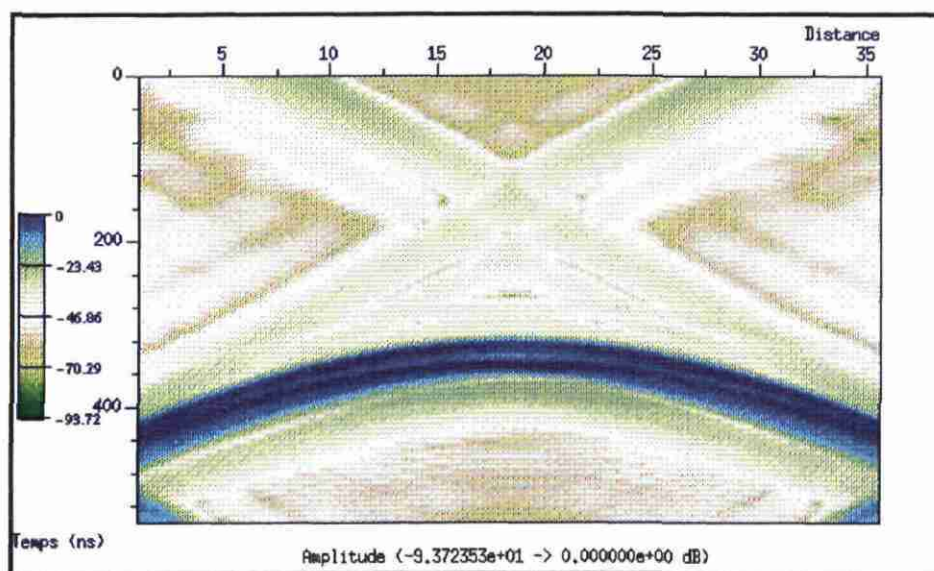


Figure 5.9 : Résultats de la réponse radar en amplitude : cavité dans un encaissant carbonaté.

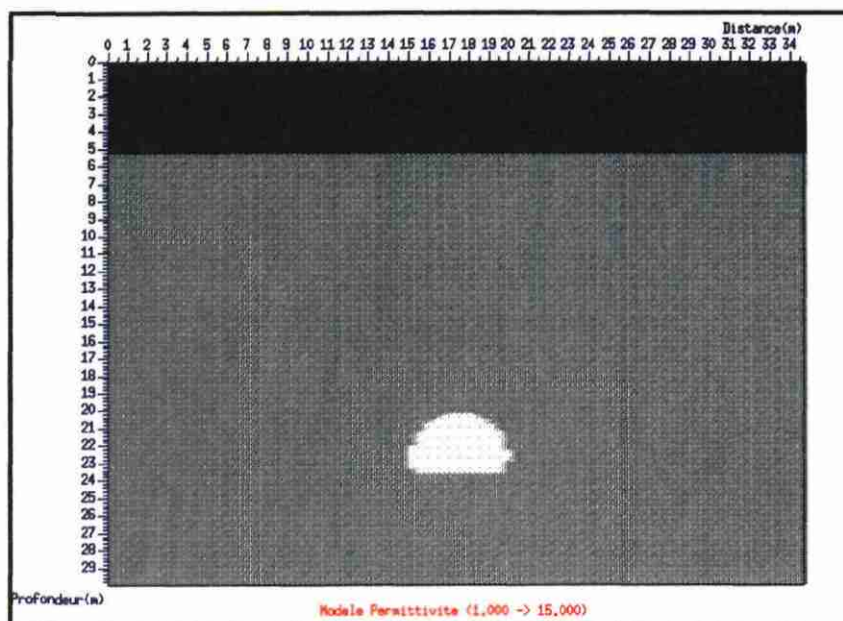


Figure 5.10 : Modèle d'une cavité affectant un encaissant carbonaté surmonté d'une couche argileuse.

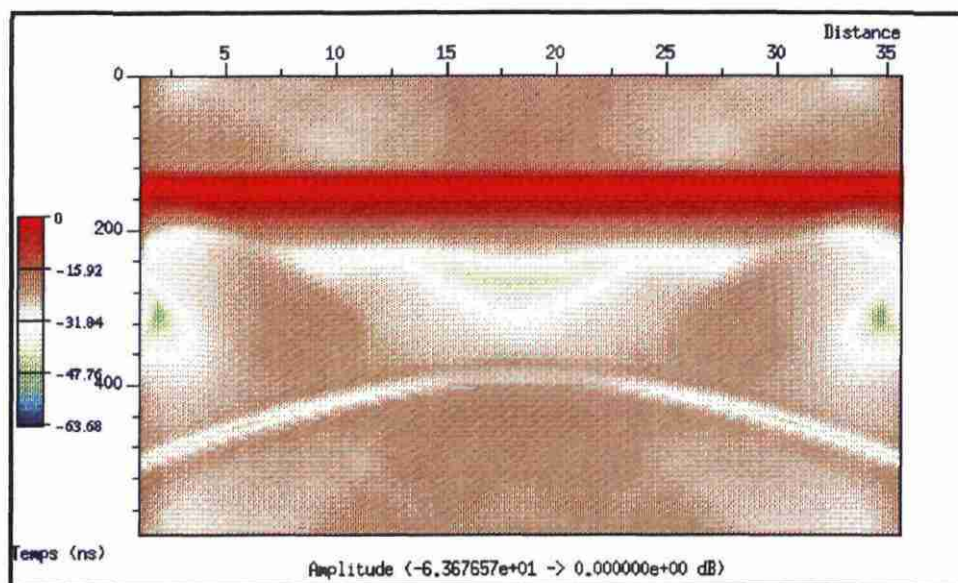


Figure 5.11 : Résultats de la réponse radar en amplitude : cavité dans un encaissant carbonaté surmonté d'une couche argileuse.

Les simulations indiquent qu'une détection de la cavité peut être envisagée dans le cas où il n'y a pas de recouvrement argileux (Fig. 5.9). En effet, le signal radar rétrodiffusé par la cavité sous la forme d'une hyperbole de diffraction, est bien différencié sur la section radar, car l'amplitude de son signal est supérieure à -10 dB.

Par contre, en présence du recouvrement argileux (Fig. 5.11), l'hyperbole de diffraction est de la même amplitude que le niveau de bruit – de l'ordre de - 30 dB – et ne peut donc être différenciée de celui-ci. Le rôle du recouvrement argileux est double : d'une part, ses caractéristiques atténuantes ($Q < 10$) créent une absorption importante du signal lorsque celui-ci s'y propage ; d'autre part, le contraste de permittivité entre le milieu carbonaté et argileux de 6/15 (paramètre K) provoque un retour de l'onde radar sous la forme d'une réflexion ; le signal transmis dans la roche carbonatée étant d'autant moins énergétique.

D'une façon générale, ces modélisations montrent donc que, sauf cas particulier, cette méthode ne pourra être utilisée systématiquement dans le contexte géologique de la Haute-Normandie. Il n'est pas envisagé de la tester.

6. Campagne de microgravimétrie

6.1. MÉTHODE

Les opérations de terrain ont été effectuées du 12 au 20 décembre 1996. Un dispositif comprenant 236 stations a été implanté sur la marnière de la Grande Rue à Saint-Gilles-de-la-Neuville ; il couvre une superficie d'environ 1,4 ha. Une maille de mesure de 10 m × 10 m a été retenue, avec des mesures de points intermédiaires dans les zones anomaliques légères. Environ 20% des stations de mesures ont été réitérées, ce qui a permis de déterminer la précision des mesures du gravimètre utilisé²⁴. Celle-ci est de l'ordre de 5 μ gal. En tenant compte de cet écart moyen, ainsi que de ceux liés à la précision altimétrique, aux corrections d'altitude, aux corrections de latitude et de la précision des corrections topographiques, la précision finale des mesures est de $\pm 10 \mu$ gal.

6.2. RÉSULTATS

La figure 6.1 présente la carte de l'anomalie gravimétrique résiduelle obtenue après correction de l'anomalie régionale. Sur cette figure, les constructions sont matérialisées par des rectangles hachurés et les limites de parcelles par des lignes droites continues. Le puits d'accès de la marnière est indiqué par un cercle plein noir (coordonnées : 80, 100).

Les zones anomaliques légères – donc présentant un défaut de masse – sont visualisées en rouge. L'amplitude maximale de ces anomalies est de - 39 μ gal ; elle se localise à proximité du puits de la marnière.

D'une façon globale, la marnière a donc pu être détectée de façon significative. Toutefois, l'anomalie gravimétrique se subdivise dans plusieurs directions qui ne sont pas complètement fermées. Cela suggère l'existence de galeries se prolongeant au-delà de la zone étudiée. En particulier, on notera au sud et à l'est de l'étude, des zones à caractère gravimétrique léger qui pourrait révéler l'existence d'autres exploitations souterraines actuellement inconnues.

Le lever topographique précis de cette marnière, réalisé durant l'été, permettra de connaître avec précision les volumes et les distances mis en jeu. Il permettra ainsi de comparer les résultats de la campagne de mesures avec ceux déduits des modélisations, et d'affiner ces dernières grâce à une bonne connaissance des paramètres quantitatifs.

²⁴SCINTREX CG3M. Un niveau laser LNA2 (WILD) a été utilisé pour la topographie.

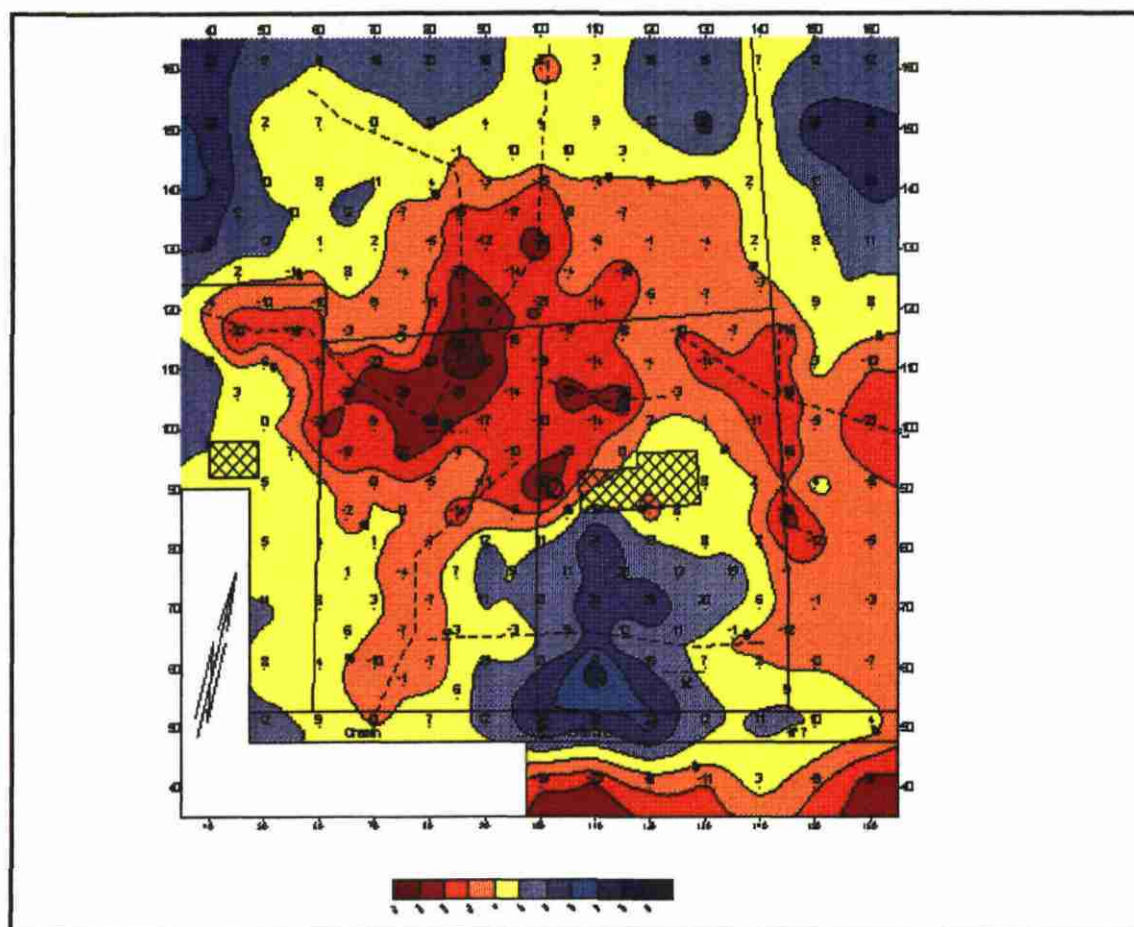


Fig. 6.1. Saint-Gilles-de-la-Neuville : Campagne de mesures microgravimétriques.
Résiduelle microgravimétrique d'ordre 2.

7. Conclusion

La recherche méthodologique en matière de prospection géophysique des vides souterrains, telle qu'elle a été engagée en Haute-Normandie, est fondée sur les points suivants :

- L'exploration de méthodes classiques telles que la microgravimétrie.
- Le développement de méthodes nouvelles telles que la SASW (sismique à haute résolution).
- La modélisation systématique des différentes méthodes géophysiques à partir de valeurs caractéristiques du contexte géologique de Haute-Normandie.

L'ensemble des actions de géophysique au sol se concentre désormais sur une manière-test sélectionnée à Saint-Gilles-de-la-Neuville.

Les résultats préliminaires confirment l'intérêt de la microgravimétrie. Les modélisations tendent à éliminer *a priori* certaines méthodes telles que le radar géologique ou les panneaux électriques ; cette dernière méthode sera mise en œuvre à des fins méthodologiques.

Compte tenu du contexte géologique spécifique de la Haute-Normandie, il semble que la méthode sismique constitue une voie de développement intéressante. Elle sera explorée, notamment sous la forme SASW.

La poursuite de l'étude exploratoires des méthodes géophysiques abordera les points suivants :

- La topographie détaillée du réseau souterrain de la manière de Saint-Gilles-de-la-Neuville (prévue durant l'été).
- Le déploiement des campagnes d'acquisition pour les méthodes autres que la gravimétrie sur le site de Saint-Gilles-de-la-Neuville (prévu en septembre).
- La synthèse et l'interprétation des données recueillies, suivies de l'établissement du rapport définitif d'étude (réunion de bilan prévue en décembre 1997).

Bibliographie succincte

Collectif (1987). Les vides souterrains en Haute Normandie. CETE Normandie Centre, env. 120 p.

Dubuc A. (1973). Marnières et carrières en Seine-Inférieure. *Actes 98e Congr. nat. Soc. sav.*, Saint-Etienne, Hist. mod., t.I, p.261-270.

Guillope P. (1987). Localisation des indices de cavités souterraines : une méthodologie appliquée à la réalisation d'une carte d'alerte. *In*: Collectif (1987), CETE, 11 p.

Lautridou J.-P. (1968). Les formations superficielles de Saint-Romain (pays de Caux). Leur contribution à l'étude morphologique de la région. Ed. Assoc. Publ. Fac. Lettres et Sci. hum. Univ. Caen, 199 p.

Pinchemel P. (1954). Les plaines de craie du nord-ouest du bassin parisien et du sud-est du bassin de Londres et leurs bordures. Etude de géomorphologie. Libr. Armand Colin, 502 p.

Quesnel F. (1997). Cartographie numérique en géologie de surface. Application aux altérites à silex de l'ouest du bassin de Paris. Thèse Univ. Rouen, 255 p. (à paraître dans les *Documents BRGM*).

Expérience du BRGM en matière de géophysique appliquée Rapports d'étude publics sur la Haute-Normandie

REF .81GPH51
CLIENT .BRGM
TITRE .ETUDE GRAVIMETRIQUE SUR LA COMMUNE DE GODERVILLE.RECHERCHE DE
CAVITE
AUTEUR .MARREC C.,MENNECHET C.
DATE .1981
PAGE .7,3
LIEU .76,GODERVILLE
MOTCLE .CAVITE,GRAVIMETRIE,PAYS DE CAUX
THEME .GEOPHYSIQUE

REF .81HNO40
CLIENT .SOCIETE FRANCAISE DE GENERALE IMMOBILIERE
TITRE .RECHERCHE DE CAVITE PAR ETUDE GRAVIMETRIQUE
AUTEUR .MARREC C.,MENNECHET C.,QUERIERE (DE LA) P.
DATE .1981
PAGE .10,2
LIEU .76,GODERVILLE
MOTCLE .CAVITE,GRAVIMETRIE,PAYS DE CAUX
THEME .GEOPHYSIQUE,GEOTECHNIQUE

REF .82GPH34
TITRE .ETUDE DE MICROGRAVIMETRIE A VITOT.EURE
AUTEUR .MADELAINE B.
DATE .1982
PAGE .9
LIEU .27,VITOT
MOTCLE .GRAVIMETRIE,SONDAGE,STATISTIQUE
THEME .GEOPHYSIQUE

REF .82GPH35
TITRE .ETUDE DE MICROGRAVIMETRIE A BRETTEVILLE-DU-GRAND-CAUX.SEINE-
MARITIME
AUTEUR .MADELAINE B.
DATE .1982
PAGE .9
LIEU .76,BRETTEVILLE-DU-GRAND-CAUX
MOTCLE .MICROGRAVIMETRIE,SONDAGE,STATISTIQUE
THEME .GEOPHYSIQUE

REF .82SGN657HNO
CLIENT .BRGM
TITRE .ETUDE DE MICROGRAVIMETRIE A VITOT
AUTEUR .MADELAINE B.
DATE .1982
PAGE .11
LIEU .27,VITOT

MOTCLE .SONDAGE,MICROGRAVIMETRIE,EFFONDREMENT
THEME .GEOPHYSIQUE

REF .82SGN710HNO
CLIENT .DISTRICT DE FECAMP
TITRE .DISTRICT DE FECAMP.RECONNAISSANCE GRAVIMETRIQUE A EPREVILLE.SEINE-MARI
.TIME
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1982
PAGE .15,2
LIEU .76,EPREVILLE
MOTCLE .GRAVIMETRIE,SONDAGE,EFFONDREMENT
THEME .GEOTECHNIQUE

REF .83HNO19
CLIENT .COMMUNE DE CONCHES-EN-OUCHES
TITRE .COMMUNE DE CONCHES-EN-OUCHES.LOTISSEMENT DES CHATAIGNIERS.EXAMEN
DES
.EFFONDREMENTS DE TERRAINS
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1983
PAGE .4
LIEU .27,CONCHES-EN-OUCHES
MOTCLE .EFFONDREMENT,SONDAGE,GRAVIMETRIE
THEME .GEOTECHNIQUE

REF .83HNO30
CLIENT .DISTRICT DE FECAMP
TITRE .DISTRICT DE FECAMP.COMMUNE D'EPREVILLE.CONTROLE D'ANOMALIES
.GRAVIMETRIQUES PAR FORAGES DESTRUCTIFS.SEINE-MARITIME
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1983
PAGE .11
LIEU .76,EPPREVILLE
MOTCLE .FORAGE DESTRUCTIF,GRAVIMETRIE,CAVITE,SONDAGE,PAYS DE CAUX

REF .83HNO46
CLIENT .COMMUNE DE CONCHES-EN-OUCHES
TITRE .COMMUNE DE CONCHES-EN-OUCHES.EURE.LOTISSEMENT COMMUNAL DES
.CHATAIGNIERS.RECONNAISSANCE GRAVIMETRIQUE
AUTEUR .BRIANDET D.,MATHON C.
DATE .1983
PAGE .10
LIEU .27,CONCHES-EN-OUCHES
MOTCLE .GRAVIMETRIE,METHODOLOGIE

REF .83SGN388HNO
CLIENT .SOCIETE FONCIER CONSEIL
TITRE .RECONNAISSANCE GRAVIMETRIQUE A VILLERS-ECALLES.SEINE-MARITIME
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1983
PAGE .14
LIEU .76,VILLERS-ECALLES

MOTCLE .GRAVIMETRIE,CAVITE,PAYS DE CAUX
THEME .GEOTECHNIQUE

REF .83SGN389HNO
CLIENT .CABINET DUBOC
TITRE .CABINET DUBOC.PROJET DE LOTISSEMENT A FAUVILLE-EN-CAUX.RECONNAISSANCE
.GRAVIMETRIQUE
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1983
PAGE .14,1
LIEU .76,FAUVILLE-EN-CAUX
MOTCLE .GRAVIMETRIE,CAVITE,FONTIS,KARST,PAYS DE CAUX
THEME .GEOTECHNIQUE

REF .84HNO23
CLIENT .SOCIETE GEOCONSUT
TITRE .PROPRIETE LE BOUDEC A SAINT-JEAN-DE-MORSENT.RECONNAISSANCE
.GRAVIMETRIQUE
AUTEUR .BLANC B.,MATHON C.
DATE .1984
PAGE .7,1
LIEU .27,SAINT-JEAN-DE-MORSENT
MOTCLE .GRAVIMETRIE,ANALYSE,CAVITE
THEME .GEOTECHNIQUE

REF .86GPH10
CLIENT .BRGM
TITRE .PROSPECTION MICROGRAVIMETRIQUE POUR LA RECHERCHE DE CAVITES SUR LA
LA
.COMMUNE DE GRANDCHAIN.EURE
AUTEUR .DUPONT F.
DATE .1986
PAGE .14,2
LIEU .27,GRANDCHAIN
MOTCLE .GRAVIMETRIE,SONDAGE,CAVITE
THEME .GEOPHYSIQUE

REF .86GPH49
CLIENT .BRGM
TITRE .PROSPECTION MICROGRAVIMETRIQUE.RECHERCHE DE CAVITES SUR LA
COMMUNE DE
.NOTRE-DAME-DE-GRAVENCHON.SEINE-MARITIME.DOCUMENT NON PUBLIC
AUTEUR .MERCIER F.
DATE .1986
PAGE .23,2
LIEU .76,NOTRE-DAME-DE-GRAVENCHON
MOTCLE .GRAVIMETRIE,CAVITE,PAYS DE CAUX

REF .86HNO15
CLIENT .EDF
TITRE .EDF.FUTUR POSTE 90 KV/MT DE MONTIVILLIERS. INFORMATIONS
GEOTECHNIQUES
.ET GEOLOGIQUES DISPONIBLES A PROXIMITE DU SITE

AUTEUR .MATHON C.
DATE .1986
PAGE .8
LIEU .76,MONTIVILLIERS
MOTCLE .CAVITE,ARGILES A SILEX,SONDAGE,CRAIE,LIMON,GRAVIMETRIE,PAYS DE CAUX
THEME .GEOTHECHNIQUE

REF .87HNO17
CLIENT .SYNDICAT MIXTE POUR LE DEVELOPPEMENT DE PORT-JEROME
TITRE .SYNDICAT MIXTE POUR LE DEVELOPPEMENT DE PORT-JEROME.RESERVOIR N°2 DE
.NORVILLE.SEINE-MARITIME.RECONNAISSANCE DES ANOMALIES GRAVIMETRIQUES
.PAR FORAGES DESTRUCTIFS
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1987
PAGE .11
LIEU .76,NORVILLE
MOTCLE .SONDAGE DESTRUCTIF,GRAVIMETRIE,TASSOMETRE,EFFONDREMENT
THEME .GEOTHECHNIQUE

REF .87SGN844HNO
CLIENT .M.RIQUIER
TITRE .COMMUNE DE SAINT-AUBIN-CELLOVILLE.PROPRIETE RIQUIER.CONTROLE
.D'ANOMALIES GRAVIMETRIQUES PAR FORAGES MECANQUES DESTRUCTIFS
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1987
PAGE .11
LIEU .76,SAINT-AUBIN-CELLOVILLE
MOTCLE .GRAVIMETRIE,SONDAGE DESTRUCTIF,MARNIERE,PAYS DE CAUX
THEME .GEOTHECHNIQUE

REF .88HNO36
CLIENT .COMMUNE DE LA COUTURE-BOUSSEY
TITRE .PROJET DE SALLE POLYVALENTE.RECHERCHE DE CAVITES SOUTERRAINES PAR
.GRAVIMETRIE
AUTEUR .MATHON C.,BUCHWALD W.
DATE .1988
PAGE .15,2
LIEU .27,LA COUTURE-BOUSSEY
MOTCLE .GRAVIMETRIE,FORAGE DESTRUCTIF,CAVITE,METHODOLOGIE

REF .89HNO20
CLIENT .COMMUNE DE SAINT-AUBIN-CELLOVILLE
TITRE .PROPRIETE RIQUIER.CONTROLE COMPLEMENTAIRE DES ANOMALIES
.GRAVIMETRIQUES PAR FORAGES
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1989
PAGE .6,4
LIEU .76,SAINT-AUBIN-CELLOVILLE
MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,FONTIS,GRAVIMETRIE,SONDAGE DESTRUCTIF,PAYS DE CAUX

REF .90HNO08
CLIENT .M.LAINE
TITRE .SAINT-SEBASTIEN-DE-MORSENT.PROPRIETE WARNIER.RECONNAISSANCE DU
.TERRAIN PAR MICROGRAVIMETRE.EURE
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1990
PAGE .19
LIEU .27,SAINT-SEBASTIEN-DE-MORSENT
MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,GRAVIMETRIE,SONDAGE DE CONTROLE

REF .90HNO28
CLIENT .M.GAUDU
TITRE .FAUVILLE-EN-CAUX.ETABLISSEMENTS GAUDU.EXAMEN DE LA MARNIERE
.DECOUVERTE SOUS LE PROJET DE CONSTRUCTION NOUVELLE.SEINE-MARITIME
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1990
PAGE .6
LIEU .76,FAUVILLE-EN-CAUX
MOTCLE .CARRIERE
SOUTERRAINE,EFFONDREMENT,FONTIS,GRAVIMETRIE,STABILISATION,
.MARNIERE,PAYS DE CAUX

REF .91BNO28
CLIENT .SOCIETE FRENEHARD ET MICHAUX
TITRE .SOCIETE FRENEHARD ET MICHAUX.USINE DE L'AIGLE.ORNE.PROJET
.D'EXTENSION.RECONNAISSANCE GRAVIMETRIQUE PRELIMINAIRE
AUTEUR .MATHON C.,BUCHWALD W.
DATE .1991
PAGE .23
LIEU .61,L'AIGLE
MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,MARNIERE,GRAVIMETRIE,SONDAGE DE CONTROLE,
.METHODOLOGIE

REF .91HNO08
CLIENT .M.PATRICK ALAIN MARIE
TITRE .GODERVILLE.SEINE-MARITIME.PARCELLE A291.RECONNAISSANCE
GRAVIMETRIQUE
AUTEUR .MATHON C.
DATE .1991
PAGE .22,3
LIEU .76,GODERVILLE
MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,GRAVIMETRIE,SONDAGE,METHODOLOGIE,PAYS DE
CAUX

REF .91HNO111
CLIENT .SOCIETE INFRA SERVICE
TITRE .COMMUNE DE QUINCAMPOIX.SEINE-MARITIME.RECONNAISSANCE
GRAVIMETRIQUE
.D'UN TERRAIN A LOTIR
AUTEUR .MATHON C.,BUCHWALD W.
DATE .1991
PAGE .19
LIEU .76,QUINCAMPOIX

MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,GRAVIMETRIE,SONDAGE DE CONTROLE,PAYS DE CAUX

REF .91HNO70

CLIENT .COMMUNE DE BREAUTE

TITRE .COMMUNE DE BREAUTE.SEINE-MARITIME.PROJET DE ZONE
ARTISANALE.RECONNAISS

.ANCE GRAVIMETRIQUE PRELIMINAIRE

AUTEUR .MATHON C.,BUCHWALD W.

DATE .1991

PAGE .19

LIEU .76,BREAUTE

MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,GRAVIMETRIE,SONDAGE,PAYS DE CAUX

REF .92HNO120

CLIENT .COMMUNE DE LA COUTURE-BOUSSEY

TITRE .COMMUNE DE LA COUTURE-BOUSSEY.EURE.CONSTRUCTION D'UNE
ECOLE.RECONNAISS

.ANCE MICROGRAVIMETRIQUE

AUTEUR .FRANCK C.

DATE .1992

PAGE .22

LIEU .27,LA COUTURE-BOUSSEY

MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,GRAVIMETRIE,SONDAGE DE CONTROLE

REF .93HNO15

CLIENT .COMMUNE D'ANCEAUMEVILLE

TITRE .COMMUNE D'ANCEAUMEVILLE.SEINE-MARITIME.TERRAIN
COMMUNAL.RECONNAISSANCE

.DE CAVITES SOUTERRAINES PAR MICROGRAVIMETRIE

AUTEUR .FRANCK C.,BUCHWALD W.

DATE .1993

PAGE .21

LIEU .76,ANCEAUMEVILLE

MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,GRAVIMETRIE,SONDAGE DE CONTROLE,PAYS DE CAUX

REF .93ROU81

CLIENT .CIR PROMOTION

TITRE .CIR PROMOTION.LE MESNIL ESNARD.ZAC DU VAL HUBERT.ETUDE
.MICROGRAVIMETRIQUE

AUTEUR .BUCHWALD W.,FRANCK C.

DATE .1993

PAGE .21,2

LIEU .76,LE MESNIL ESNARD

MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,FORAGE DE
CONTROLE,MARNIERE,MICROGRAVIMETRIE,PAYS
.DE CAUX

REF .93ROU95

CLIENT .CIR PROMOTION

TITRE .CIR PROMOTION.LE MESNIL-ESNARD.SEINE-MARITIME.ZAC DU VAL
.HUBERT.FORAGES DE CONTROLE SUR ANOMALIES MICROGRAVIMETRIQUES

AUTEUR .FRANCK C.

DATE .1993

PAGE .25

LIEU .76,LE MESNIL-ESNARD
MOTCLE .CAVITE SOUTERRAINE,CRAIE,ORAGE
DESTRUCTIF,MICROGRAVIMETRIE,PAYS DE
.CAUX

REF .A00007HNO94
CLIENT .COMMUNE D'AUTIGNY
TITRE .COMMUNE D'AUTIGNY.SEINE-MARITIME.ZONE D'ACTIVITES LES
FOSSES.RECONNAIS
.SANCE MICROGRAVIMETRIQUE AUTOUR D'UN FONTIS
AUTEUR .FRANCK C.
DATE .1994
PAGE .22
LIEU .76,AUTIGNY
MOTCLE .EFFONDREMENT,ORAGE DE CONTROLE,MICROGRAVIMETRIE

REF .A00204HNO94
CLIENT .SOCIETE DES AUTOROUTES PARIS-NORMANDIE,SCETAURROUTE
TITRE .SOCIETE DES AUTOROUTES PARIS-NORMANDIE.SCETAURROUTE ANTENNE DE
.NORMANDIE.RECONNAISSANCE PAR METHODES MICROGRAVIMETRIQUE
.ELECTROMAGNETIQUE ET PAR PANNEAU ELECTRIQUE SUR LE SITE TEST C DE
.L'AUTOROUTE A29.VEAUVILLE-LES-BAONS.SEINE-MARITIME
AUTEUR .FRANCK C.,BALTASSAT J.M.
DATE .1994
PAGE .42,3,4
LIEU .76,VEAUVILLE-LES-BAONS
MOTCLE .CAVITE,ELETROMAGNETISME,MARNIERE,MICROGRAVIMETRIE,PANNEAU
ELECTRIQUE,
.SONDAGE DE CONTROLE

REF .A02182HNO95
CLIENT .COMMUNE DE GARENCIERES
TITRE .LOCALISATION DE MARNIERES PAR MICROGRAVIMETRIE SUR LA COMMUNE DE
.GARENCIERES
AUTEUR .G.FILLIS
DATE .1995
PAGE .11,1
LIEU .27,GARENCIERES
MOTCLE .MARNIERE,MICROGRAVIMETRIE

REF .A02790HNO95
CLIENT .COMMUNE DE GODERVILLE
TITRE .ETUDE PAR MICROGRAVIMETRIE A GODERVILLE
AUTEUR .LEJEUNE F.,RICHALET G.,MIEHE J.M.
DATE .1995
PAGE .14,4
LIEU .76,GODERVILLE
MOTCLE .MICROGRAVIMETRIE,CAVITE

REF .A02866HNO95
CLIENT .SYNDICAT SCOLAIRE DE SAINT-ANTOINE-LA-FORET
TITRE .SYNDICAT SCOLAIRE DE SAINT-ANTOINE-LA-FORET.ETUDE
MICROGRAVIMETRIQUE
.AUX ALENTOURS DU GROUPE SCOLAIRE ET SUR LE TERRAIN DE SPORT

AUTEUR .BUCHWALD M.(GRAVIMEP)

DATE .1995

PAGE .22,4

LIEU .76,SAINT-ANTOINE-LA-FORET

MOTCLE .EFFONDREMENT,VIDE,CRAIE,MICROGRAVIMETRIE,ANOMALIE,SONDAGE
MECANIQUE

REF .DS62A43

TITRE .NOTE D'INFORMATION SUR LES METHODES GEOPHYSIQUES AEROPORTEES

AUTEUR .JAEGER J.L.

DATE .1962

PAGE .69

MOTCLE .METHODOLOGIE,GRAVIMETRIE,ELECTROMAGNETOMETRIE,MAGNETOMETRIE
THEME .GEOPHYSIQUE