

MEURISSE S.A.S

FÉVRIER 2016

FORAGES-SONDAGES
ETUDE DES SOLS



MAIRIE DE BEAUVOIS EN CAMBRÉSIS

Bordure de la RD 643

Recherche de cavités souterraines

Ville de

BEAUVOIS EN CAMBRESIS

62820 LIBERCOURT - Zone d'Activités "Les Botiaux"

Tél : 03.21.37.02.11 - Fax : 03.21.37.93.13

E mail : sas.meurisse@wanadoo.fr

Etude microgravimétrique

Rapport d'étude 03A16

Janvier 2016

Auteur : L. Buchwald

<u>Motif :</u>
Recherche de Cavités Souterraines
<u>Contexte :</u>
Campagne de reconnaissance
<u>Lieu de mission :</u>
Beauvois à Cambrésis (59)
<u>Demandeur :</u>
MEURISSE SAS
Contact : Madame Cécile BEHAGUE

SOMMAIRE

	Pages
I INTRODUCTION	5-9
II PRINCIPE DE LA METHODE MICROGRAVIMETRIQUE	10-12
III MISE EN OEUVRE	13-16
IV METROLOGIE - QUALITE DES RESULTATS	17-18
V RESULTATS GRAVIMETRIQUES	19-25
VI RECOMMANDATIONS – GENERALITES	26
VII CONCLUSION	27-28

Liste des figures du rapport

Fig.1 - Plan de situation de l'étude à BEAUVOIS EN CAMBRESIS (59) - Source Google Earth	4
Fig.2 – Gravimétrie : Principe du peson à ressort	10
Fig.3 - Statistiques des écarts gravimétriques	18

Liste des annexes du rapport

Annexe 1 – Indices cavités sur le secteur de l'étude	
Source BRGM infoterre	29
Annexe 2 - Indice cavité n°1 (source infoterre)	30
Annexe 3 - Indice cavité n°2 (source infoterre)	31
Annexe 4 - Indice cavité n°3 (source infoterre)	32
Annexe 5 – Indices cavités sur le secteur de l'étude	
Source SDICS fournie par le client	33
Annexe 6 – Zone d'étude fournie par le client	34
Annexe 7 - Rôle du maillage gravimétrique	35-36

Liste des planches ou cartes

Documents remis séparément au format DWG et PDF

PL. 01-03A-16 Carte de l'anomalie de Bouguer Echelle 1/500
PL. 03-03A-16 Carte de l'anomalie Résiduelle Echelle 1/500
Carte de superposition de l'étude microgravimétrique sur fond DWG (non fournie)

Figure 1: Plan de situation de l'étude à Beauvois en Cambrésis (59)



Source : Google Earth

Latitude moyenne : 50°08' N
Longitude moyenne : 03°22' E
Altitude moyenne : 110 mètres

I INTRODUCTION

A) GENERALITES

La méthodologie consiste à obtenir des informations sur le sous-sol en utilisant d'abord une **méthode géophysique non destructive**. Ensuite, il est nécessaire de procéder à des contrôles destructifs par forages en s'appuyant sur les résultats de l'étude géophysique.

Pour la recherche de cavités, la microgravimétrie est le plus souvent conseillée.

La **microgravimétrie** mesure la variation du champ de pesanteur à la surface d'un terrain qui change en fonction des différences de densité présentes dans le sol. La présence de cavités crée un déficit de la densité dans le sol qui contraste avec le terrain en place. Les vides sont donc, par ce principe physique, décelables. Les résultats d'une étude microgravimétrique mettent en évidence des anomalies qui reflètent la présence de zones altérées, de zones parfois décomprimées, de zones affectées par des vides.

Les vides (ou zones altérées ou décomprimées), s'ils existent, se traduiront par des déficits localisés de la densité. Toute anomalie négative sera le résultat d'une présence de déficit de densité, donc soit des vides, soit des variations géologiques dans les terrains superficiels (zones de remblais superficiels).

La **prise de mesures microgravimétriques** est réalisée avec un appareil appelé « gravimètre » qui en l'occurrence se comporte comme un sismographe de précision. Des événements peuvent contraindre à l'arrêt des mesures microgravimétriques comme les microséismes, les séismes lointains, les phénomènes vibratoires entretenus à proximité du site, la pluie, le vent, le gel et dégel. Une procédure est nécessaire sur le terrain. Il s'agit principalement de prévoir un retour à un point de base toutes les heures, de réaliser un nombre de contrôles suffisant, de définir un cheminement pour la prise de mesure.

Les stations (ou points) de mesure sont réparties sur le terrain selon un maillage. L'espacement entre les points ou stations de mesure est bien souvent régulier et orthogonal. Un maillage peut être adapté plus précisément à l'objectif si l'on a connaissance des caractéristiques des vides recherchés (dimensions H x L x P, géométrie, etc...).

Les préconisations (ou propositions) permises après une étude géophysique telle que la microgravimétrie est d'orienter la campagne de forage. Ces contrôles ciblés sur les anomalies négatives (ou zones d'aléas forts) apporteront des informations quantitatives afin d'infirmer ou de confirmer la présence de vide à leurs aplombs.

A) CONTEXTE DE L'ETUDE

A la demande de la société MEURISSE SAS (59), l'entreprise GRAVIMEP a réalisé une étude géophysique par méthode microgravimétrique sur un terrain à Beauvois en Cambrésis (59) Rue Victor Watremez (RD643). Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une reconnaissance sans projet communiqué.

Le terrain se situerait sur une zone à risque pour ce qui concerne la présence de cavités souterraines. On repère en annexe 1 et 5 les indices de cavités repérés sur le secteur. On parle notamment d'anciennes carrières souterraines. Rappelons que ces anciennes carrières ont été creusées pour exploiter la craie (pierre à bâtir) pour la construction d'édifice. Elles sont courantes dans la région de Cambrai. Il existe des ensembles importants, connus et s'étalant sur plusieurs hectares. De nos jours, les recherches concernent bien souvent les petits ensembles qui représentent des carrières abandonnées. Ici, la présence de cavités suspectées de type carrières serait la principale cause des investigations.

La possibilité d'une présence d'exploitations restreintes (2 à 3 catiches) sur la zone d'étude est réelle. Ces cavités non répertoriées car abandonnées en fin d'exploitation ou d'exploration, n'ont pas laissé de trace en archive ou dans la mémoire collective. Ces cavités, si elles existent, présentent un risque pour la réalisation d'un projet. L'évolution d'une cavité dans le temps est une évidence mais les dégradations naturelles sont sans aucun doute accélérées par l'occupation des sols. Les remontées successives de voûtes peuvent aboutir à la surface et ainsi provoquer la formation de fontis ou d'effondrements.

On peut constater les indices connus. Ils sont repérables sur une carte en annexe 1 et 5 (source BRGM - site internet Infoterre). La présence supposée de la cavité située à proximité du terrain, son « Existence n'a pas démontrée, 4 sondages de recherche de vide à 20 m de profondeur réalisés en février 1977 n'ont rencontré aucune anomalie » (voir annexe 2). Dans le doute, cet indice suffit pour justifier les recherches.

Le but d'une telle étude géophysique reste de repérer la ou les parties décelables d'un réseau de cavités en fonction du maillage sous la zone étudiée.

Aucun désordre de type effondrement n'était visible en surface lors de notre intervention.

Le maillage adopté pour cette étude de détail consiste en l'implantation de stations gravimétriques suivant le maillage orthogonal de 5 mètres x 5 mètres sur une zone d'environ de 4000 m² définie approximativement **sur l'annexe 6**.

Ce maillage est usuellement utilisé pour ce type de recherche. Il permet de mettre en évidence des zones suspectes d'extensions latérales égales à au moins une fois et demie le pas, évidemment si le contraste de densité le permet (limite de la méthode). Le maillage est fonction des dimensions des cibles recherchées ou à défaut du degré de définition recherché. Bien souvent les dimensions précises de la cible restent indéterminées. C'est aussi le cas de cette étude à Beauvois en Cambrésis.

Le nombre total de stations microgravimétriques réalisées **a été de 158 points**.

Le terrain était entièrement en herbe avec la présence d'une végétation rendant certaines zones impraticables pour la mesure microgravimétriques. Elles sont repérables sur les cartes
L'étude a été réalisée en 1 seule zone donc avec une seule base gravimétrique. La morphologie du terrain n'a pas nécessité des corrections supplémentaires sur les points de mesures.

Les conditions météorologiques ont perturbé notre avancement obligeant l'arrêt des mesures en milieu de semaine le mercredi.

La durée de l'intervention est relativement conforme à ce qui était prévu, entre le 25 et 29 janvier. **Des résultats ont été remis le 08 Février.**

D) LISTE DES PLANCHES ET FIGURES

- PL. 01-03A-16 Carte de l'anomalie de Bouguer Echelle 1/500
 - PL. 03-03A-16 Carte de l'anomalie Résiduelle Echelle 1/500
 - (non livrée) 01A16 Carte de superposition de l'étude microgravimétrique sur fond DWG
-
- Fig.1 - Plan de situation de l'étude à Beauvois en Cambrésis – *Source Google Earth*
 - Fig.2 – Gravimétrie : Principe du peson à ressort
 - Fig.3 - Statistiques des écarts gravimétriques

II PRINCIPE DE LA METHODE GRAVIMETRIQUE

La gravimétrie utilise l'étude des variations de la pesanteur (G), mesurées sur un site déterminé.

Ces mesures corrigées des effets d'altitude, de latitude et des effets latéraux sont rendues directement comparables entre elles (valeurs de Bouguer).

Des variations de densité dans le sol vont se traduire au niveau des valeurs de Bouguer par des anomalies. Leur représentation, sous forme de cartes ou coupes, donnera des zones de valeurs plus importantes à l'aplomb des excédents de densité et des zones de valeurs moins fortes à l'aplomb des déficits de densité.

Croquis explicatif

Le schéma classique montre parfaitement le principe de la gravimétrie. Le terrain étant formé de couches horizontales, le peson garde la même elongation. L'extrémité inférieure du ressort décrit une courbe dont les anomalies traduisent l'effet des excès et des défauts de masse.

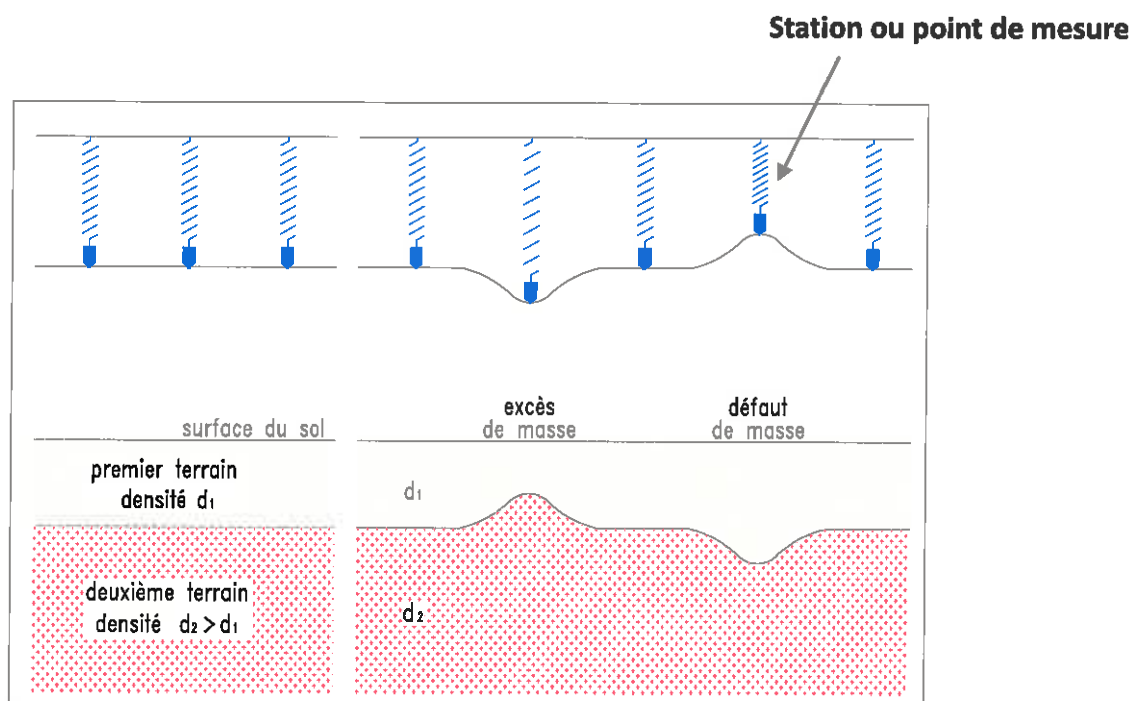


Figure 2: Gravimétrie : Principe du peson à ressort.

Les variations de densité dans le sous-sol peuvent être dues à différentes causes :

- Présence de minerais
- Présence de cavités
- Hétérogénéités géologiques ou lithologiques
- Décompressions

La gravimétrie permet donc de montrer la répartition des densités dans le sous-sol.

Dans le cas de cavités et décompressions, on notera des valeurs G plus faibles à leur aplomb, elles se traduiront donc sur les cartes de Bouguer par des zones d'anomalies négatives.

C'est par le biais de ces variations de densités qu'à l'interprétation, on pourra les attribuer, selon le cas, soit à des probables cavités soit à des zones compactes.

La gravimétrie ne peut pas détecter directement un vide, mais l'une de ses conséquences, à savoir, une baisse sensible à son voisinage, de cette densité.

Le document de base dans une étude gravimétrique est la carte de l'anomalie de Bouguer.

La valeur de Bouguer à une station est obtenue après correction de la mesure du G de l'effet d'altitude, de latitude, des effets latéraux selon la formule suivante :

$$\text{BOUGUER} = G - G_0 + [0.3086 - (0.0419 \times D)] \times Z + T$$

- * G_0 = Correction de latitude
- * D = La densité pour cette étude $D = 2.00$
- * Z = L'altitude
- * T = Correction de relief ou effets latéraux

L'unité utilisée pour les mesures de G est le microgal (10^{-6} gals 1 gal = 1 cm/sec²). Généralement, pour les études microgravimétriques, les éléments utilisés, valeur de G , altitude, latitude, ont des origines arbitraires. Le résultat final obtenu est, à une constante près, égal au résultat réel.

Les résultats sont présentés sous la forme d'une carte qui couvrira la zone prospectée. La gravimétrie intègre tous les effets qu'ils soient de subsurface, semi-profonds ou profonds. Seuls les premiers nous intéressent. Il conviendra donc de filtrer la carte de Bouguer afin de ne laisser subsister que ces anomalies susceptibles d'avoir pour origine des cavités. Ce filtre pourra être déterminé de différentes manières (mathématique ou graphique). C'est l'**anomalie régionale**.

Après soustraction de cette régionale à la carte de Bouguer, nous obtiendrons une carte filtrée qui est appelée **anomalie Résiduelle**.

Il devrait, en principe, n'y subsister que les anomalies intéressantes. En réalité, il sera souvent malaisé de pouvoir différencier celles dues à des cavités de celles provoquées par des causes géologiques locales. Seuls les contrôles mécaniques (par forages) pourront lever le doute.

Une étude gravimétrique débouchera, dans presque tous les cas de figure, sur des contrôles par forages. Ces contrôles seront, grâce à la gravimétrie, placés le plus judicieusement possible de manière à obtenir un maximum d'efficacité.

Il est aussi à rappeler que les phénomènes de dégradations à l'intérieur des cavités sont évolutifs, se rapprochant de la surface suivant un processus qui ne peut en aucun cas suivre un ordre référentiel quelconque.

III MISE EN OEUVRE

A) Matériel utilisé

- 2 Gravimètres LACOSTE et ROMBERG modèle D
- 1 équerre optique
- 1 théodolite pour les perpendiculaires ou la projection d'alignement
- 1 niveau de chantier de type WILD NA20
- 1 progiciel «Gravimétrie »
- 1 table traçante OCE format A0 et/ou imprimante A3
- 1 véhicule

B) Moyens humains

- 2 ingénieurs - opérateurs sur le terrain, 1 assistant technique extérieur

C) TOPOGRAPHIE

1) Implantation

La configuration de l'étude consiste en l'implantation de 9 profils principaux. Sur chacun des profils, les stations de mesures microgravimétriques sont disposées tous les 5m. Elles sont numérotées dans l'ordre croissant de 5 à 27 (maximum) selon les profils et de la lettre C à K. Les numéros identiques se situent en principe sur une même perpendiculaire aux profils.

Une fois les (ou le) points de départ choisis, les stations gravimétriques sont implantées par la méthode des alignements entre jalons à partir d'une perpendiculaire avec un profil de base (profil C pour ce cas d'étude). Le profil de base C a été implanté à 4 mètres de la clôture Ouest du terrain.

Dans un second temps, nos stations ont été aménagées à l'aide d'une pelle US pour permettre la pose du gravimètre, puis levées en altimétrie au centimètre en relatif par rapport à un point de base (précision du Z au centimètre). **Nous sommes dans un système indépendant.**

La matérialisation des stations est un piquet en bois et de la peinture au sol avec la référence de chaque station. Ces piquets sont laissés sur place. Les stations figurent sur le plan de superposition aux imprécisions près relatif au report.

Le nombre total de stations microgravimétriques réalisées est de **158 points de mesure conforme à ce qui était prévu.**

2) Levé altimétrique

Nous avons vu précédemment qu'une origine altimétrique a été utilisée. Elle correspond à notre point **F16** situé au centre de la zone d'étude. C'est aussi notre base gravimétrique. La précision altimétrique sur un même point est de l'ordre du centimètre au moment du levé sur un terrain meuble.

3) Planimétrie

La planimétrie a été déterminée à partir de coordonnées de l'origine planimétrique de notre grille d'implantation soit la station C5. Les autres coordonnées des stations de l'étude ont été calculées à partir de ce point d'origine et en connaissant le gisement de nos profils et l'écartement entre les stations.

Tous ces éléments ont servi à la détermination de nos corrections de latitude dépendant des coordonnées de chaque point de mesure. Les coordonnées approchées de cette étude sont dans un système Lambert I. La précision par calcul suffit à l'exploitation gravimétrique.

Notre origine planimétrique est donc notre station C5

C5 : X = 674 430 m Y = 271 783 m

L'angle topographique (ou gisement) pour notre profil de base est d'environ :

$\alpha = 26.65$ grades (dans le sens des numéros croissants)

D) GRAVIMETRIE

Les gravimètres utilisés pour cette étude sont de marque LACOSTE et ROMBERG du type microgal, model D. Ce type d'appareil est spécialement conçu pour des études microgravimétriques de haute précision.

Les mesures sont effectuées généralement dans des programmes d'une durée d'environ 1 heure.

Pour le cas de cette étude de détails avec un maillage de 5m x 5m, nous avons utilisé notre principe de reprise contrôlée avec **un coefficient de reprises de 1.59.**

Lors de la sortie des résultats provisoires, nous avons effectué des contrôles supplémentaires, pour vérifier et confirmer les anomalies apparaissant sur ces documents provisoires. Des reprises complémentaires ont aussi été effectuées en cas d'écarts dépassant nos normes.

Le coefficient instrumental utilisé est 1.17 pour le gravimètre D12.

Le coefficient instrumental utilisé est 1.161 pour le gravimètre D86.

Nos origines des valeurs de G sont des bases gravimétriques (**Base 1**), située à l'aplomb de la station **F16**. Elle a pour valeur arbitraire **5 000 microgals**.

Les calculs effectués par notre Logiciel de traitement gravimétrique tiennent compte des corrections des effets de marée luni-solaire.

Corrections de latitude (G0)

Ces corrections ont été calculées pour chacune des stations de l'étude à partir de leurs coordonnées dans un système que nous avons utilisé.

La formule utilisée est : I.G.S.N. 1971 Soit :

$$G0 = 978031,8 \left(1 + 0,0053024 \sin^2 \Phi - 0,0000059 \sin^2 2\Phi \right)$$

Φ = latitude géographique de la station.

Afin de garder des valeurs de Bouguer positives, nous avons ajouté une constante à ces G0.

$$\text{« } C = - 981\,067 \text{ milligals »}$$

1) Corrections de relief

Cette correction tient compte des effets latéraux des reliefs (topographie) ou des masses (présence de talus ou remblais ou excavation). La topographie étant régulière, il n'y a pas eu nécessité de procéder à ce type de correction.

Parfois, les inégalités de terrain se traduisent par des excédents de masses ou des déficits de masses. Or l'anomalie de Bouguer obtenue après les mesures sur le terrain suppose un terrain parfaitement plan autour de la station. Les irrégularités des terrains avoisinants la station sont donc soit des excédents de reliefs comme des talus, falaises, collines constructions, etc., soit des déficits tels des ravins, excavations, caves, vallées, etc.

Les corrections de reliefs ont pour objectif d'apporter à la valeur de g mesurée une correction qui annule les effets de ces excédents ou déficits de masses. Les effets plus lointains sont naturellement intégrés dans l'effet régional, donc corrigés lors de la phase interprétation.

IV METROLOGIE - QUALITE DES RESULTATS

La précision finale d'une étude gravimétrique dépend statistiquement de celle des valeurs de Bouguer à chaque station. Ces valeurs sont données pour chaque station par la formule :

$$B = G - G_0 + CZ + T$$

La précision finale de B à une station dépendra donc de celle de chacun des termes de sa formule.

Valeur de G

La valeur finale du G aux stations mesurées plusieurs fois est la moyenne arithmétique des valeurs mesurées. Lors de nos mesures certaines valeurs manifestement erronées (erreurs de lecture, imprécisions grossières) ont été éliminées. Elles sont principalement attribuées aux gravimètres qui présentaient un décalage momentané ou ponctuel. **Pour cette étude, 6 mesures seulement ont été éliminées.** D'autres contrôles ont aussi été réalisés afin de vérifier les anomalies paraissant sur nos documents provisoires.

Valeurs de G₀

Ce sont des valeurs calculées qui dépendent de la précision du positionnement des stations gravimétriques. Celui ci est meilleur que le mètre et l'imprécision résultante restera de l'ordre de 1 microgal (pour des raisons d'arrondis).

Valeurs de Z

Le relevé altimétrique a été réalisé au niveau de chantier en relatif. L'imprécision altimétrique relative est de l'ordre de un à deux centimètres maximum, soit inférieur à 3 à 6 microgals ponctuellement.

Valeurs de CR

Cette correction n'a pas été appliquée. L'imprécision généralement admise est de l'ordre de 10 % de sa valeur. Aucune imprécision sur ce terme n'est à craindre.

Valeurs finales de BOUGUER

Rarement les termes d'une formule se présentent avec des imprécisions maximales et de même sens pour toutes. Dans le cas présent, il est raisonnable de penser que l'imprécision finale se situera à près de 8 et 12 microgals avec parfois des valeurs pouvant atteindre 15 à 20 microgals, ceci pour des cas ponctuels.

La figure 3 réunit l'ensemble des indications suivantes :

Fichier : **BEAUV.MAI**

Nombre de stations : 158

Nombre de mesures :	252	Stations prises 1 fois :	77
Coefficient de reprises :	1.59	Stations prises 2 fois :	68
Nombre de mesures éliminées :	6	Stations prises 3 fois :	13
		Stations prises 4 fois :	0

Nombre d'écarts observés : 175

Ecarts entre 0 et 5 Microgals :	123
Ecarts entre 5 et 10 Microgals :	40
Ecarts entre 10 et 15 Microgals :	12
Ecarts entre 15 et 20 Microgals :	0
Ecarts entre 20 et 25 Microgals :	0
Ecarts supérieurs à 25 Microgals :	0

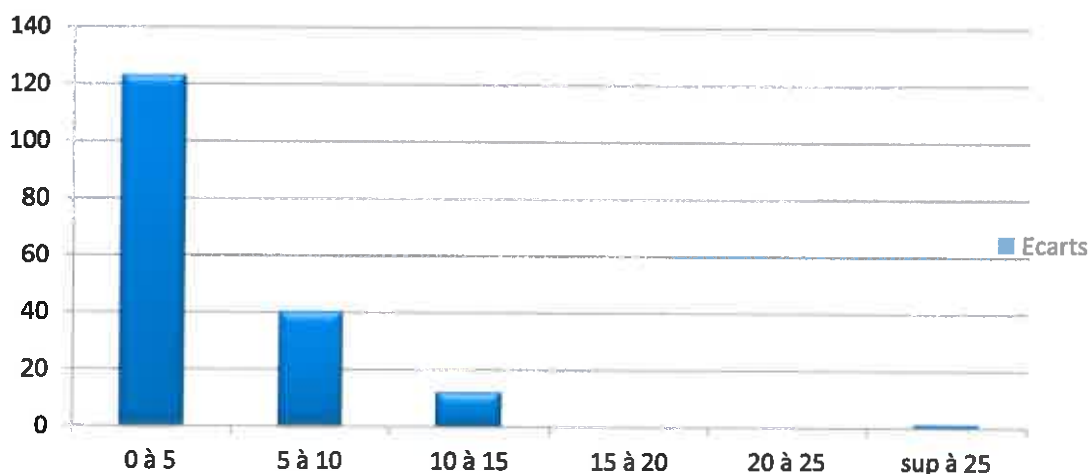


Figure 3: Statistiques des écarts en microgals.

V RESULTATS GRAVIMETRIQUES

A) PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats de cette étude sont présentés sous la forme de 3 planches et 1 figure.

- * Planche 01-03A-16 Carte de l'anomalie de Bouguer Echelle 1/500
- * Planche 03-03A-16 Carte de l'anomalie Résiduelle Calculée Echelle 1/500
- * Non livré 01A16 Carte de superposition de l'étude microgravimétrique sur fond DWG
- *  Fig. 3 Statistiques des écarts gravimétriques (en page précédente)

Nos cartes sont imprimées ou délivrées en version dématérialisée utilisant des programmes développés par nos soins.

B) CARTE DE L'ANOMALIE DE BOUGUER (ou Planche 01-03A-16)

Les cartes ou planches sont délivrées au format informatique DWG et PDF. Elles sont livrées séparément du rapport.

Ce document représente les valeurs des mesures corrigées des effets d'altitude, de latitude et des effets latéraux. Pour chaque station figure son identification (profil et numéro) et sa valeur en microgals.

Les iso - valeurs y sont tracées en bleu tous les 10 microgals, avec des courbes maîtresses en rouge tous les 50 microgals.

C'est le document de base qui servira à toute hypothèse d'interprétation pouvant être émise par la suite.

La principale remarque que l'on peut émettre au vu de cette carte, consiste en la présence d'un gradient général peu prononcé qui prend la direction du Sud vers le Nord-Ouest. En effet, les valeurs de Bouguer augmentent dans ce sens. Des gradients et des déformations sont repérables,

à la fois sous la forme de zones de valeurs plus faibles. Des resserrements sont visibles entre les stations.

Les resserrements de gradient qui bordent les valeurs basses ont été contrôlées gravimétriquement par des reprises, elles sont donc réelles.

L'hypothèse d'une origine purement géologique peut être à l'origine d'une partie ces phénomènes anomaux observés sur l'étude. En effet, la variation des valeurs de Bouguer peuvent correspondre à des variations de la qualité des sols superficielles ou d'une variation de hauteur des limons qui se trouve au dessus de la craie. Dans certains cas de figure, la variation des valeurs peut aussi traduire des parties de terrains altérées par une circulation des eaux qui dissout les matériaux les moins perméables.

On ne peut cependant écarter aucune hypothèse sur l'origine des anomalies décelées sans avoir vérifier leur origine par forage destructif.

Les déformations apparaissent sur la carte. On les repère ainsi entre les stations C8 et D8, C13 et D13, C16 et D16 mais aussi F23 et G22. Ce sont des phénomènes localisés peu étendus. Cela veut dire que le paramètre physique mesuré change à leur niveau.

Tous ces résultats seront mieux exposés sur notre document d'interprétation, à savoir la carte de l'anomalie résiduelle. L'effet de filtrage va dégager ces zones actuellement incluses dans l'effet régional et mettre en évidence les anomalies susceptibles d'avoir pour origine la présence de vide.

C) CONTROLES PAR FORAGES

Avant d'aborder la suite des résultats, nous pensons utile d'évoquer le problème des contrôles par forages. Nous préconiserons de vérifier les anomalies mises en évidence.

Ces contrôles sur anomalies négatives s'entendent dans tous les cas par plusieurs points de forage, généralement 2 ou 3 au minimum entre espacement de deux stations (point de mesure) ou proposé suivant un schéma particulier. Les contrôles des anomalies positives qui sont comparatifs, ne comporteront qu'un seul forage, en principe suffisant.

Pour cette étude, les contrôles seraient à effectuer en optimisant la profondeur de recherche jusqu'à 15 m minimum. **La profondeur est donnée à 15 mètres théorique car 3 x le pas de la maille gravimétrique.** Cette profondeur de contrôle peut aussi faire l'objet d'un ajustement en fonction de l'avis du géotechnicien qui possède des renseignements supplémentaires sur la profondeur possible de cavités sur la zone ou en fonction de considérations géotechniques sur la zone. **L'annexe 2 montre des forages jusqu'à 20 mètres réalisés en 1977.**

Elle peut être ajustée plus précisément s'il existe des éléments géotechniques concrets qui permettent cet ajustement.

Nous avons représenté par **une croix rouge** le contrôle que nous préconisons **sur les zones négatives.**

Le contrôle d'une **anomalie positive** est représenté par une **croix verte entourée d'un cercle.**

Rappelons que la Planche 03-03A-16 Carte Résiduelle donne l'emplacement exact de ces points de contrôle avec 6 points de contrôle sur zones négatives et 1 sur positifs soit **au total 7 points de contrôles.**

D) ANOMALIE REGIONALE CALCULÉE

L'anomalie régionale est le résultat des effets profonds et semi-profonds autres que ceux à mettre en évidence.

Nous avons déterminé cette hypothèse d'anomalie régionale de manière calculée.

Elle figure en superposition sur la carte de l'anomalie résiduelle en traits continus violets, avec une équidistance de 10 microgals. Comme énoncé précédemment dans le chapitre « CARTE DE L'ANOMALIE DE BOUGUER », le gradient général observé sur l'étude est relativement faible.

Notre choix s'est arrêté au modèle figurant sur notre document. Pour la détermination de notre anomalie régionale, que ce soit par méthode graphique ou calculée, nous tenons compte des valeurs réelles mesurées, sans vraiment de possibilité d'extrapoler.

Une hypothèse différente de notre régionale est cependant difficilement envisageable à partir des seules valeurs de notre carte. Son amplitude ne varie pas fortement entre les extrémités de l'étude.

Une éventuelle autre hypothèse à partir de ces seuls éléments aboutirait de toutes manières à un modèle proche sinon semblable qui n'apporterait pas de différences significatives quant aux tops des anomalies. Les amplitudes seraient modifiées en plus ou en moins selon le choix de cette régionale.

E) CARTES DE L'ANOMALIE RESIDUELLE (ou Planche 02-01A-16)

Après soustraction de l'effet régional à l'anomalie de Bouguer, nous obtenons la carte de l'anomalie résiduelle. Sur ce document filtré, ne subsistent que les anomalies qui correspondent à l'objectif visé. Pour cette étude, nous avons dessiné les courbes avec une équidistance de 10 microgals, comme pour l'anomalie de Bouguer. La courbe zéro est dessinée en rouge, les autres en bleu.

Afin de faciliter la lecture de cette carte, nous avons coloré :

- En vert les zones positives au-dessus de +10 microgals

- En jaune les zones négatives comprises entre -10 et -20 microgals

- En rouge les zones négatives en dessous de -20 microgals

- En non coloré, les zones neutres comprises entre -10 et +10 microgals.

Ce sont les zones rouges et jaunes qui seront suspectées d'être à l'aplomb de vides.

Les anomalies sont désignées par une lettre ou lettre plus un chiffre. Ce sont les anomalies **A1-A2-B1-B2-C1-C2-D-E** pour les négatives ainsi que **G1-G2-H1-H2-H3-I2-I2** pour les positives ou neutres.

Nous allons commenter les anomalies négatives successivement.

Anomalies négatives A1-A2

Cette zone négative était déjà repérable sur la carte de Bouguer avec la présence d'un gradient localisé entre les stations F23 et G22. Elle intéresse principalement la bordure de l'étude à L'Est.

Elle s'étend le long de la limite du terrain avec l'anomalie A2. L'anomalie est assez modeste sur la carte résiduelle mais fait partie des plus significative sur l'étude. Ses valeurs résiduelles ne dépassent pas -20 microgals.

Cet ensemble négatif A avec A1 et A2 constitue une zone suspecte dans l'étude même si celle-ci n'est pas très marquée. Ces anomalies sont soulignées par la présence des positifs qui en limitent l'extension (G1).

Nous préconisons les contrôles sur l'anomalie A1. Ces contrôles seront effectués par une série de trois forages, un forage sur la station G21, un forage sur la station G22, un forage entre les stations G21 et G22.

Anomalies négatives B1-B2

Cet ensemble négatif concerne la partie Ouest de l'étude en bordure pour B2 et plus au centre pour B1.

Elle contraste avec les anomalies positives G2, H1, I1 qui en limite l'extension. Cet ensemble anomalie comporte un ensemble de stations gravimétriques dont les valeurs résiduelles sont inférieures à -10 microgals. Une seule station culmine à une valeur égale à -20 microgals (station C16). Malgré de nombreuses reprises de mesure, cette anomalie persiste et maintient notre attention même si comme pour les anomalies A, les anomalies B restent assez peu marquées en amplitude.

Nous préconisons les contrôles sur B2. Ces contrôles seront effectués. Ces contrôles seront effectués par une série de trois forages, un forage sur la station C13, un forage sur la station C14, un forage entre les stations C13 et C14.

Anomalies négatives C1-C2

L'ensemble anomalique C se décompose de 2 anomalies, respectivement nommées C1, C2. Trop modeste dans l'étude, nous n'en demandons pas le contrôle.

Pas de contrôle proposé sur C1 et C2

Anomalies négatives D et E

De même que pour les anomalies C, ces deux anomalies ne sont pas très marquées. On leur préfère les anomalies A et B pour un contrôle.

Pas de contrôle proposé sur D et E

Les contrôles seront par principe effectués au minimum selon nos recommandations au chapitre VI si aucune autre justification.

VI RECOMMANDATIONS - GENERALITES

Notre étude a permis de mettre en évidence à partir de la surface et de manière non destructive, des anomalies souterraines qu'il va falloir vérifier. Des contrôles destructifs par forage sont donc nécessaires après notre étude afin de poursuivre la recherche de vide.

Notre société ne réalise pas ce type de prestation réservée aux sociétés de forage. Il convient donc au client de se rapprocher d'une société ou d'un bureau d'étude spécialisé dans le domaine de la géotechnique pour faire réaliser ces contrôles.

Notre rôle, en tant que Bureau d'Etude en Géophysique, est d'orienter efficacement la campagne de forages à partir des résultats microgravimétriques.

Nos recommandations s'effectuent aux endroits stratégiques représentés par les anomalies gravimétriques les plus significatives. En d'autres termes, ils sont placés aux endroits où « rencontrer du vide » serait le plus probable. Nous rappelons que sur la carte ou Planche 03-03A-16 (Cartes de l'anomalie résiduelle) sont reportés les emplacements des forages de contrôle à prévoir.

Au total, nous recommandons à partir des résultats microgravimétriques 6 points de contrôles sur zones négatives et 1 point de contrôle sur zone positive ce qui représente une quantité située dans la moyenne usuelle pour ce type d'étude au maillage de 5m.

La profondeur est donnée à 15 mètres théorique (3 x le pas de la maille). Cette profondeur de contrôle peut aussi faire l'objet d'un ajustement en fonction de l'avis du géotechnicien qui possède des renseignements supplémentaires sur la profondeur possible de cavités sur la zone ou en fonction de considérations géotechniques sur la zone. **L'annexe 2 montre des forages jusqu'à 20 mètres réalisés en 1977.**

Pour plus d'information, conférer le chapitre V. C) CONTROLES PAR FORAGE

VII CONCLUSION

La suspicion de cavités souterraines avec pour origine la présence d'anciennes carrières, est privilégiée sur ce secteur géographique. La présence d'autres types de vides n'est pas à exclure complètement. La géologie semblerait favorable à des cavités d'exploitation. Des indices visibles sur nos annexes proviennent de la base de données du BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) site « infoterre ».

L'étude microgravimétrique réalisée dans le but de mettre en évidence des anomalies gravimétriques pouvant être liées à la présence de cavités souterraines, si elles existent, a atteint son objectif dans les limites des possibilités de la méthode sur le terrain étudiée. Elle a permis de déceler principalement ensembles anomaliques distinctes suspecté d'avoir pour origine des vides. Si des cavités existent sous le site, elles se situeront par principe à l'aplomb de ces anomalies négatives.

Les anomalies mises en évidences par la microgravimétrie sont donc à contrôler afin d'en définir les origines (cavités, remblais, zone décomprimées, ..). Les contrôles par forage devraient apporter une explication probablement définitive sur ces anomalies. **Dans cette étude, les anomalies décelées restent néanmoins très modestes.**

Sur cette étude microgravimétrique 158 stations de mesures gravimétriques ont été traitées selon un pas de mesure de 5m.

Pour ce cas d'étude à Beauvois en Cambrésis, au final 7 points de forage sont préconisés afin de poursuivre la recherche de vide.

Ils figurent clairement sur la Planche 03-03A-16 Carte de l'anomalie résiduelle qui complète ce rapport séparément en PDF et en DWG

En cas de rencontre de vide, les forages devront être tubés pour une éventuelle inspection vidéo.

Notez que la présence de réseaux enterrés ne sont pas détectables par la microgravimétrie (car trop petits). Il faut vérifier leur présence avant forage.

Les anomalies positives, avec les zones neutres non colorées qui les entourent représentent des terrains à l'aplomb de densités excédentaires, donc sans doute exempts de présence de cavités. Elles sont pour certaines à contrôler dans un but de comparaison ou d'étalonnage.

Notre étude sur le terrain s'est déroulée principalement entre le 25 et 29 Janvier 2016 avec une interruption le mercredi due à la mauvaise météo.

Des résultats provisoires ont été envoyés le 08 Février pour l'exécution éventuel des forages.

A ce stade de la recherche de vide, notre mission d'étude en géophysique est terminée.

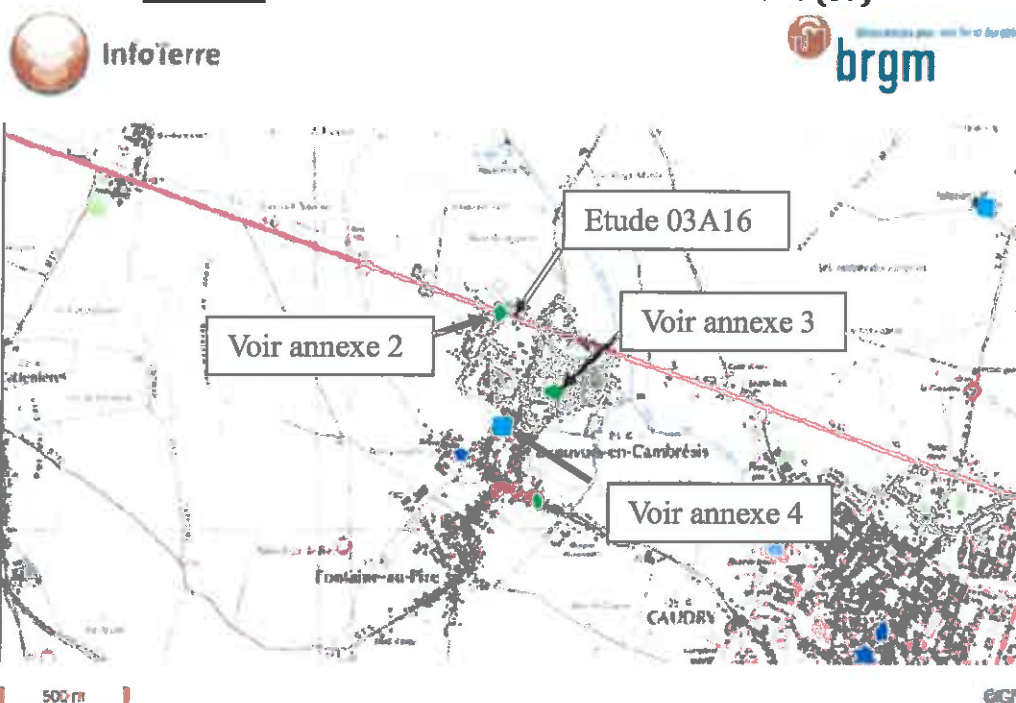
Chargé d'étude

J-G.VIDAL
Ingénieur Géophysicien

Rapport final

L. BUCHWALD
Gravimétricien - Gérant

Annexe 1 : Indices cavités sur le secteur de l'étude (59)



Fond de carte mondial

Propriétaire : Non renseigné

Information : Non renseigné

Pas de légende

Scans (IGN)

Propriétaire : Non renseigné

Information : Non renseigné

Pas de légende

Orthophotographie (IGN)

Propriétaire : Non renseigné

Information : Non renseigné

Pas de légende

Cavités souterraines abandonnées non minières (BRGM)

Propriétaire : Non renseigné

Information : Non renseigné

- Caves
- Caméras
- Naturelle
- Indétournée
- ▲ Réseau
- ★ Ouvrage Civil
- Ouvrage militaire
- ★ Puits
- Souterrain

Annexe 2 : indice cavité n°1 (source infoterre)

Cavités Souterraines

Identifiant de la cavité : NPCAW0022308

Type de cavité : carrière

Nom de la cavité : Carrière à proximité RN 143

Département : NORD (59)

Nom de la commune (à la saisie) : BEAUVOIS-EN-CAMBRESIS (59063)

Coordonnées X,Y en Lambert 93 métrique : 727034, 7004914

Coordonnées X,Y ouvrage : 674554, 2572282

Lambert X,Y ouvrage : Lambert 2 étendu

Précision coordonnées : 100m

Repérage géographique : centre cavité

Positionnement : approché

Date de validité : 01/02/1977

Commentaires : **Cavité supposée / Carrière à proximité de la RN 43 (cadastre: 000 U 01)./ Existence non démontrée, 4 sondages de recherche de vide à 20 m de profondeur réalisés en février 1977 n'ont rencontré aucune anomalie.**

Source d'information :

Source

Archives du SDICS (Synthèse des éléments connus n°2)

Lieu d'archivage

BRGM NPC (Lezennes)

Annexe 3 : indice cavité n°2 (source infoterre)

Cavités Souterraines

Identifiant de la cavité : NPCAA20000033

Type de cavité : carrière

Nom de la cavité : Carrière place Francisco Ferrer

Département : NORD (59)

Nom de la commune (à la saisie) : BEAUVOIS-EN-CAMBRESIS (59063)

Coordonnées X,Y en Lambert 93 métrique : 727361, 7004422

Coordonnées X,Y ouvrage : 674886, 2571793

Lambert X,Y ouvrage : Lambert 2 étendu

Précision coordonnées : 25m

Repérage géographique : orifice visible

Positionnement : précis

Date de validité : 28/09/1989

Commentaires : **Cavité avérée./ Carrière localisée place Francisco Ferrer (cadastre: 000 U04). Réutilisée par la suite en souterrain refuge./ Plan de localisation et plan d'extension disponibles en archive.**

Source d'information :

Source	Lieu d'archivage
Plans et sondages du SDICS	BRGM NPC (Lezennes)
Archives du SDICS (Synthèse des éléments connus n°1)	BRGM NPC (Lezennes)
Les Souterrains du Nord	Ouvrage de B. Bivert, 1999

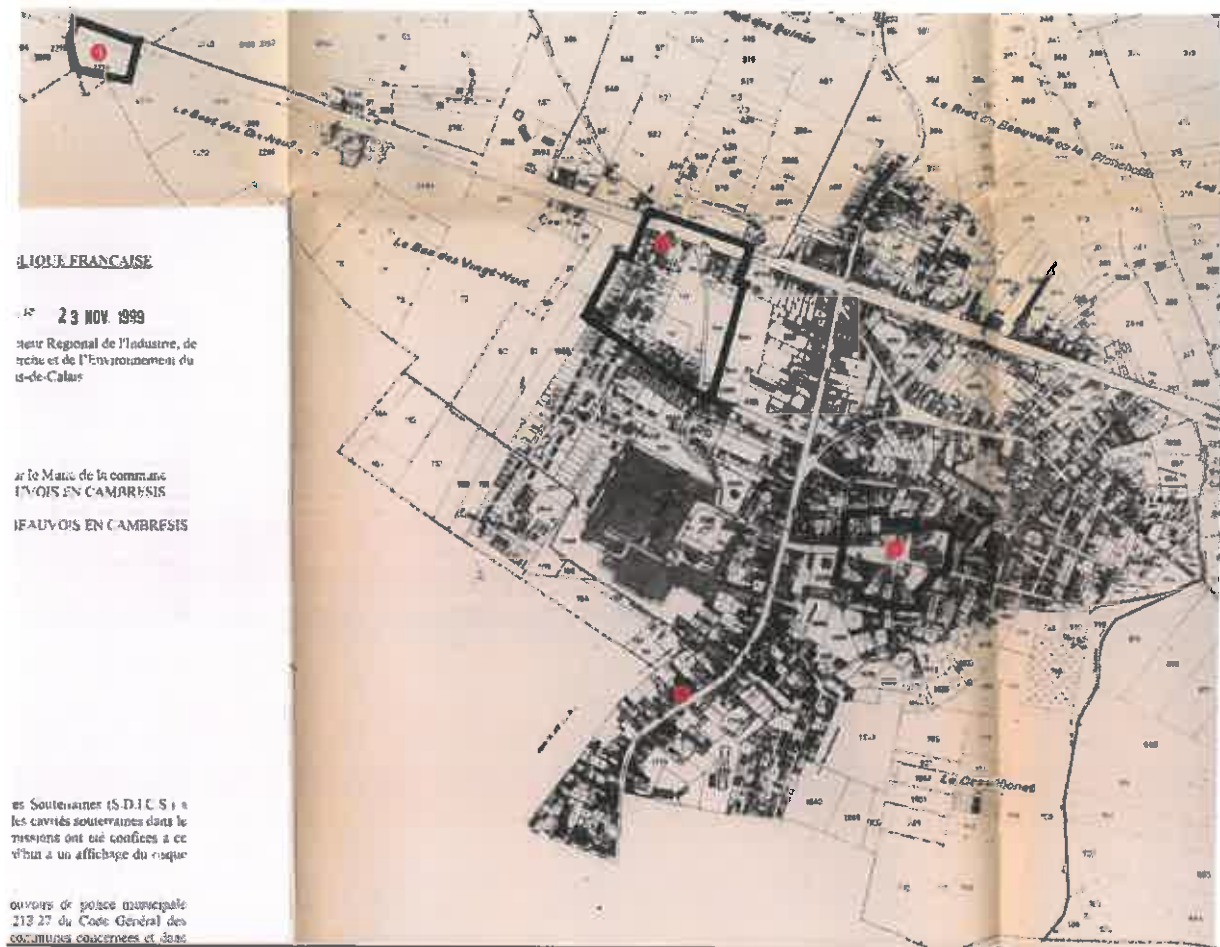
Annexe 4 : indice cavité n°3 (source infoterre)

Cavités Souterraines

Identifiant de la cavité : NPCAA20000032
 Type de cavité : cave
 Nom de la cavité : Affaissement d'une bove au 171 rue Marcelin Berthelot
 Département : NORD (59)
 Nom de la commune (à la saisie) : BEAUVOIS-EN-CAMBRESIS (59063)
 Coordonnées X,Y en Lambert 93 métrique : 727050, 7004218
 Coordonnées X,Y ouvrage : 674576, 2571586
 Lambert X,Y ouvrage : Lambert 2 étendu
 Précision coordonnées : 25m
 Repérage géographique : orifice visible
 Positionnement : précis
 Date de validité : 07/09/2001
 Commentaires : Cavité avérée./ Affaissement d'une bove le 07/09/2001 au 171 rue Marcelin Berthelot, de forme circulaire, 5,5 m de diamètre , 2,5 m de profondeur./ Rupture du toit de bove provoquée par le passage d'un engin lors de la démolition d'une habitation./ L'ouvrage a été comblé le jour même./ Plan de localisation disponible en archive.
 Source d'information :

	Source	Lieu d'archivage
Plans du SDICS		BRGM NPC (Lezennes)
Archives du SDICS (Synthèse des éléments connus n°4)		BRGM NPC (Lezennes)
Archives du SDICS (Liste des interventions n° 01-1015)		BRGM NPC (Lezennes)

Annexe 5 : indices cavités sur le secteur de l'étude (source SDICS via le client)



Annexe 6 : Zone d'étude fournie par le client



Annexe 7 – Rôle du maillage gravimétrique

Une étude microgravimétrique réalisée atteint son objectif dans les limites des possibilités de la méthode.

Si vous connaissez préalablement les dimensions et la profondeur des cavités recherchées, il est possible avant toute intervention de modéliser leurs effets gravifiques qui permettront d'optimiser le pas des mesures gravimétriques donc le maillage. Dans le cas contraire, nous proposons un maillage courant pour le cas de figure concerné. Nous distinguons communément pour la microgravimétrie plusieurs types d'études selon le maillage, le degré de définition voulu et le type d'objectif recherché :

- Etude de fin Détail : maillage 4m x4m ou inférieur
- Etude de Détail : **maillage 5m x5m**
- Etude de Semi-Reconnaissance : maillage 7m x 7m
- Etude de Reconnaissance : maillage 10m x 10 m
- Etude de grande Reconnaissance : maillage 15m x 15m ou supérieur

La première carte de résultat accessible est la « carte de Bouguer » qui met en évidence des gradients et des déformations. Après interprétation, ils donnent naissance à des Anomalies Positives et Anomalies Négatives sur une seconde carte dite «carte d'Anomalie Résiduelle».

Des anomalies mises en évidences sur cette seconde carte seront à contrôler par forage afin d'en définir les origines. Les Anomalies Positives sont pour certaines à contrôler dans un but de comparaison ou d'étalonnage par un seul point de forage. Les Anomalies Négatives les plus significatives seront à contrôler par une ou plusieurs séries de forage.

L'emplacement exact des forages de contrôle est reporté sur la carte d'Anomalie Résiduelle. Les contrôles par forage proposés seront ciblés et auront pour but d'apporter une explication définitive sur les anomalies décelées.

(suite annexe 7)

Vous retrouverez en conclusion du rapport de synthèse microgravimétrique les éléments suivants :

- **Le nombre et l'emplacement des séries de contrôles sur les anomalies négatives**
- **Le nombre et l'emplacement des contrôles ponctuels sur les anomalies positives dans un but de comparaison avec les contrôles sur négatifs**

La profondeur de forage donnée est généralement proposée à titre indicatif en l'absence de renseignements plus précis sur la profondeur des objectifs recherchés. Il usuellement conseillé une profondeur de forage de 2 à 3 fois le pas de la maille sauf exception.

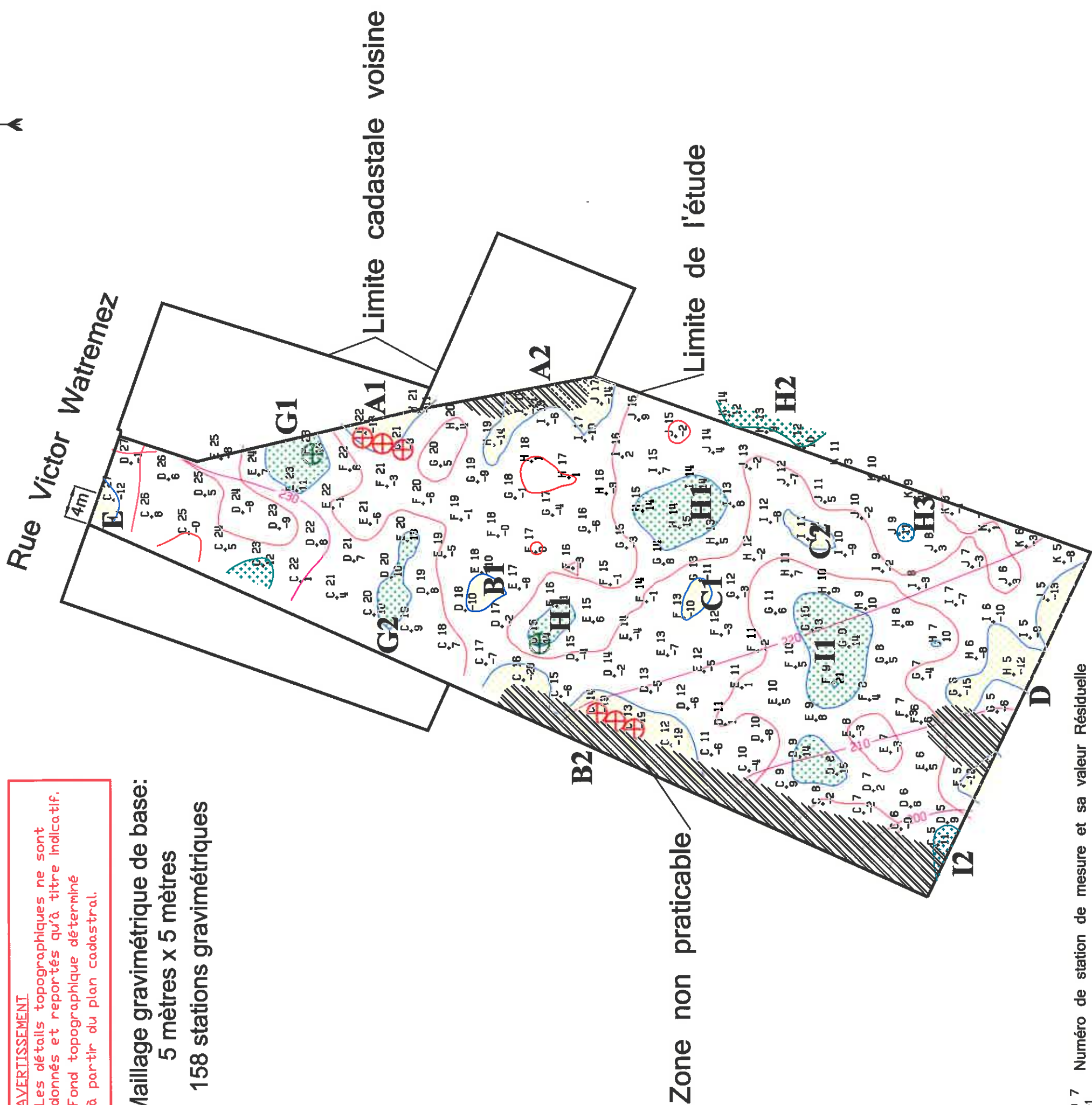
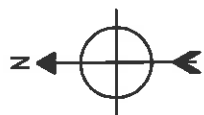
Nos propositions ne dépendent pas, ni de l'importance, ni de la nature du projet prévu à la construction mais bien de l'aspect «qualitatif» obtenu par l'étude microgravimétrique au moment de son exécution.

Il est à noter que dans le cas mais peu probable où la zone d'étude se trouve affectée en majeure partie par des cavités remblayées ou non remblayées, l'étude microgravimétrique peut s'avérer plus ou moins « aveugle ». La microgravimétrie met en évidence des différences de densité dans le sol par la mesure de variation du champ de pesanteur. **C'est une méthode différentielle et de contraste entre le vide et le terrain en place.**

GRAVIMEP Géophysique - Etude microgravimétrique 03A16
Demandeur : SAS MEURISSE (59)
Lieu de mission : Beauvois-en-Cambrésis (59)
Motif : Recherche de cavités souterraines
Planche 03-03A-16 CARTE DE L'ANOMALIE RÉSIDUELLE

AVERTISSEMENT
Les détails topographiques ne sont
donnés et reportés qu'à titre indicatif.
Fond topographique déterminé
à partir du plan cadastral.

Maillage gravimétrique de base:
5 mètres x 5 mètres
158 stations gravimétriques



D 7 Numéro de station de mesure et sa valeur Résiduelle

▲ Base gravimétrique

~ Régionale

Aléas FORTS : Zones négatives au dessous de -20 microgals

Aléas MOYENS : Zones négatives comprises entre -10 et -20 microgals

Aléas FAIBLES : Zones neutres comprises entre -10 et +10 microgals

Aléas TRES FAIBLES : Zones positives au dessus de +10 microgals

⊕ Contrôles sur Zone positive

⊖ Contrôles sur Anomalie négative

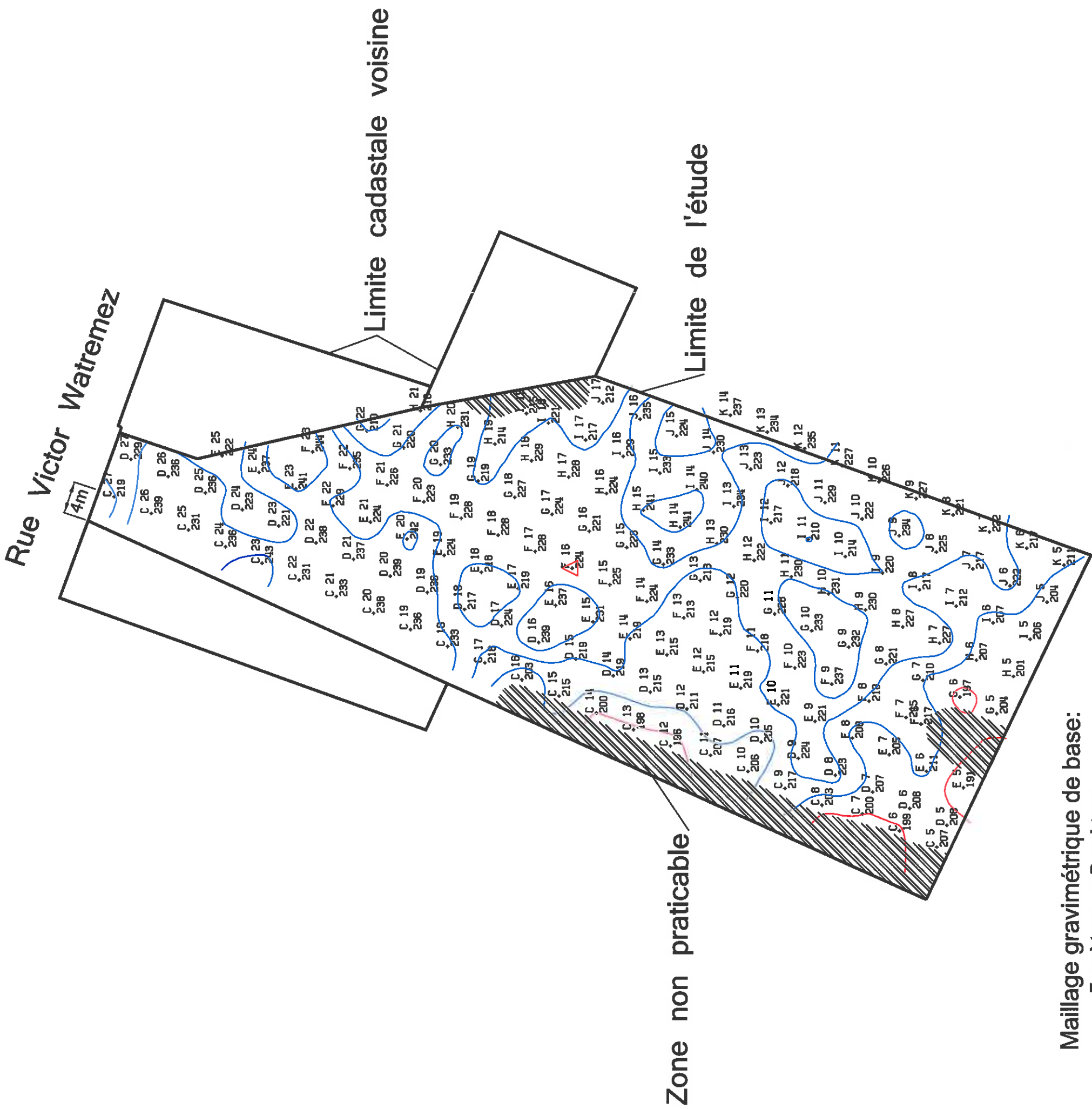
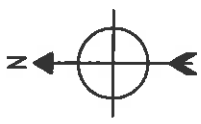
Contrôles sur ZONES POSITIVES 2 points de forages

Contrôles sur ANOMALIES NEGATIVES 6 points de forages

10 m

BEAUV.RS2	Carte de l'anomalie résiduelle (Régionale polynomiale du 2°)	GRAVIMEP	
BEAUV.RG2			
			1/500
			Planche 03-03A-16

GRAVIMEP Géophysique - Etude microgravimétrique 03A16
Demandeur : SAS MEURISSE (59)
Lieu de mission : Beauvois-en-Cambrésis (59)
Motif : Recherche de cavités souterraines
Planche 01-03A-16 CARTE DE L'ANOMALIE DE BOUGUER



Maillage gravimétrique de base:
5 mètres x 5 mètres
158 stations gravimétriques

Numéro de station de mesure et sa valeur de Bouguer

- Base gravimétrique
- Courbes d'isovaleurs équidistance 10 microgals
- Courbes d'isovaleurs équidistance 50 microgals

AVERTISSEMENT

Les détails topographiques ne sont
donnés et reportés qu'à titre indicatif.
Fond topographique déterminé
à partir du plan cadastral.