



FONDASOL DTGM

8 rue Abo volo

14120 MONDEVILLE

☎ 02 31 74 31 31



Centre Hospitalier de Valenciennes



CENTRE HOSPITALIER
DE VALENCIENNES

Blocs opératoires modulables
Valenciennes (59)

Prospection par méthode microgravimétrique

PR.59GT.24.0209-DTGM- 001

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Contrôleur
-	20/11/24	34	1ère diffusion	J. PAILLE	F. RIVIERE
A				APPROUVÉ Par PAILLE , 17:14, 20/11/2024	APPROUVÉ Par RIVIERE F. , 18:13, 20/11/2024
B					
C					

SOMMAIRE

A.	Présentation de notre Investigation	4
A.1.	Documents remis dans le cadre de notre investigation	4
A.2.	Investigation géophysique	4
A.3.	Limite de notre investigation géophysique	4
B.	Descriptif general du site	6
B.1.	Description des zones investiguées	6
B.2.	Contexte géologique, géotechnique	6
C.	Investigation geophysique	8
C.1.	Matériel mobilisé	8
C.2.	Personnel mobilisé	8
C.3.	Environnement, Hygiène et Sécurité	8
C.4.	Travaux réalisés	8
D.	resultats de l'investigation	12
D.1.	Documents remis en annexes	12
D.2.	Prise en compte des données à notre disposition	12
D.3.	Synthèse de l'investigation géophysique	12
D.4.	Recommandations au prescripteur	14
	ANNEXES	15
1.	Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (NF P94-500) – I page	16
2.	Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P94-500) – I page	17
3.	Principe de la methode	18
4.	Resultats de l'investigation	25

Figure 1 : exemple de profondeur de détectabilité pour une cavité sphérique en fonction de son volume.	5
Figure 2 : Principe d'équivalence en gravimétrie (source norme ASTM-D6430-99).	5
Figure 3 : situation de la zone d'étude (source Geoportail)	6
Figure 4 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 (source InfoTerre)	7
Figure 5 : Exemple de matérialisation d'une station	9
Figure 6 : Histogramme des reprises.	9
Figure 7 : établissement de l'anomalie régionale.	11
Figure 8 : Carte d'anomalie résiduelle	13

DEFINITIONS

Mesure microgravimétrique : Mesure relative du champ de pesanteur local en un point, exprimée en micro gal (μgal).

Station (microgravimétrique) : Correspond à un point ayant été implanté, préparé, numéroté, nivelé et mesuré.

Base : station microgravimétrique servant de référence pour les corrections.

Cycle de mesure : période de temps qui débute et se termine par des mesures de base. Il ne peut excéder 1h.

Reprise : Nouvelle mesure d'une station microgravimétrique réalisée sur un cycle différent.

Ecart-type : Mesure de la dispersion de l'écart entre les mesures microgravimétriques initiales et les reprises. Il permet d'évaluer la répétabilité des mesures.

Seuil de signification : exprimé en μgal , il permet de définir un seuil au delà duquel les anomalies sont prises en compte. Il intègre l'écart-type des mesures, l'erreur générée par le nivellement, et 20% de la correction de terrain le cas échéant.

Seuil d'anomalie : Intensité minimale attendue pour la cible définie. Pour qu'une étude soit pertinente, le seuil de signification doit être inférieur au seuil d'anomalie.

Anomalie significative : Groupe d'au moins 3 stations adjacentes en dessous du seuil d'anomalie (Lakshmanan 1988).

Anomalie ponctuelle : Anomalie prise en compte ne répondant pas au critère des 3 stations adjacentes.

A. PRESENTATION DE NOTRE INVESTIGATION

Maitre d'Ouvrage	Centre Hospitalier de Valenciennes
Maitre d'Œuvre	Non communiqué
Mission Géotechnique	FODNASOL Agence de LILLE
Investigation Géophysique	FONDASOL Etudes Géophysiques et Mesures

Dans le cadre d'un projet de blocs opératoires modulables, situé 114 Avenue Desandrouin sur la commune de Valenciennes, l'agence FONDASOL LILLE, Rue des Sorbiers, 59815 LESQUIN, représenté par B. DEPOUEZ, a été missionnée pour la réalisation d'une étude géotechnique.

Dans le cadre de cette mission, le Département Etudes Géophysiques et Mesures de FONDASOL, 8 rue Abo Volo, 14120 MONDEVILLE, représenté par J. PAILLE, a réalisé une investigation par méthode microgravimétrique au droit du projet situé au 114 Avenue Desandrouin, à Valenciennes.

A.1. Documents remis dans le cadre de notre investigation

- **projet blocs modulaires.pptx**, présentation au format Power Point faisant figurer la localisation et l'implantation de la zone d'étude ;
- **Masse.dwg**, plan de l'existant, au format Autocad, dans un référentiel local.

A.2. Investigation géophysique

Notre investigation géophysique avait pour objet la mise en évidence d'anomalies liées à la présence de cavités de type exploitations souterraines, par méthode microgravimétrique. En l'absence de cahier des charges détaillé, notre programme est basé sur le guide d'adéquation de l'AGAP Qualité.

Cette investigation, a été réalisée conformément aux prescriptions de l'AGAP Qualité dont FONDASOL est membre. Ces prescriptions font l'objet d'une fiche méthode recueillie dans le Code de bonne pratique en Géophysique sous la référence 92.1 GRA01.

A.3. Limite de notre investigation géophysique

De façon générale, une investigation microgravimétrique a pour but de reconnaître le sous-sol en termes d'excès ou de déficits de masse et de mettre en évidence toute anomalie liée à un défaut de masse (cavité franche).

La profondeur d'investigation de la méthode reste conditionnée par le rapport entre le volume du vide et sa profondeur. A titre d'exemple, on peut ainsi estimer la limite de détectabilité pour le cas simple d'une sphère en fonction de son volume (Cf. figure 1).

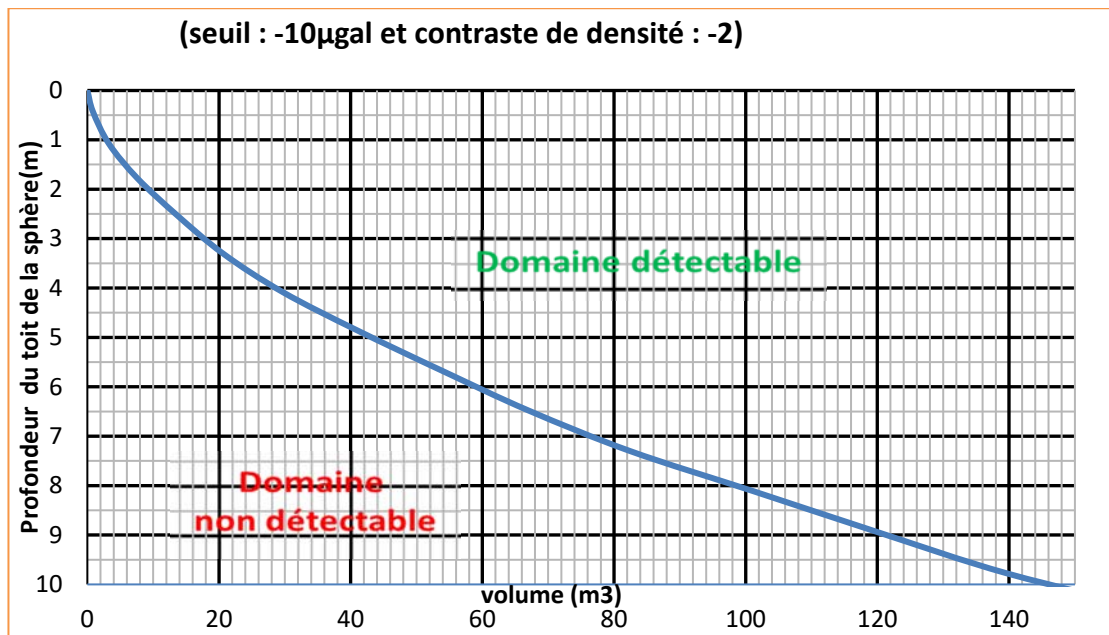


Figure 1 : exemple de profondeur de détectabilité pour une cavité sphérique en fonction de son volume.

La méthode microgravimétrique ne permet pas à elle seule de déterminer la présence ou non de vide francs. En effet, la figure ci-dessous montre la non unicité de l'inversion : plusieurs répartitions de défauts de masse différentes donne la même signature.

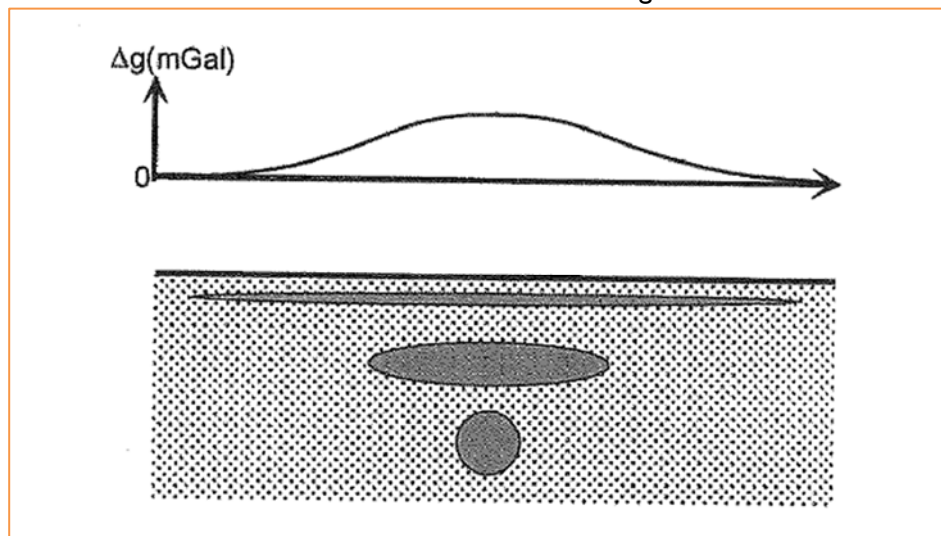


Figure 2 : Principe d'équivalence en gravimétrie (source norme ASTM-D6430-99)



Figure 4 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 (source InfoTerre)

La coupe type géotechnique attendue au droit de la zone d'étude est la suivante (issue du site internet Infoterre) :

Description	Epaisseur	Formation
Enrobé/couche de forme	métrique	Anthropique
Limons de lavage	plurimétrique	Quaternaire (L/e2a)
Craie blanche	Considérée comme substratum	Sénonien (c4)

D'après la banque de données du sous-sol du BRGM (site infoterre), une cavité de type exploitation souterraine est présente à proximité immédiate de la zone d'étude (cf. figure 4).

Nous n'avons aucune information sur le toit de la nappe au droit de la zone d'étude.

C. INVESTIGATION GEOPHYSIQUE

C.1. Matériel mobilisé

- Microgravimètre de marque Scintrex, de type CG-6 autograv (ref 327);
- Station robotisée de marque Topcon, de type MS1AXII (ref : KM0660);
- GPS différentiel de marque Leica, de type GS10 (ref I532758).

C.2. Personnel mobilisé

- B. MORITZ, ingénieur du Département Etudes Géophysiques et Mesures de FONDASOL, chargé des mesures sur site les 30 et 31/10/24;
- J.PAILLE, ingénieur du Département Etudes Géophysiques et Mesures de FONDASOL, chargé du traitement et de la rédaction du rapport ;
- F. RIVIERE, ingénieur du Département Etudes Géophysiques et Mesures de FONDASOL, chargé de la relecture du rapport.

C.3. Environnement, Hygiène et Sécurité

L'accès à la zone d'étude et la mise en sécurité de notre équipe ont été effectués en accord avec l'agence FONDASOL LILLE, représenté par B. DEPOUEZ.
Aucun incident n'a été rencontré durant l'acquisition des mesures.

C.4. Travaux réalisés

Il a été mené une investigation sur l'ensemble de la zone d'étude par méthode microgravimétrique pour un total de 76 stations réparties selon une maille 5x5m

Implantation et référentiel :

Le plan fourni n'étant pas géoréférencé, il a été superposé à un fond de plan cadastral dans le système RGF93 CC50. Nous déclinons toute responsabilité en cas d'erreur sur le récolement. L'implantation a ainsi pu être réalisée à l'aide d'un GPS Différentiel (voir matériel mobilisé) dans le système géographique RGF93 Projection CC50, avec une précision sur le terrain de +/-20cm. Chaque station a été décapée lorsque cela était nécessaire, matérialisée et numérotée au sol à l'aide d'étiquettes bois et de bombe de peinture selon une nomenclature « n° de ligne/n° de station » (voir figure 5 ci-dessous).



Figure 5 : Exemple de matérialisation d'une station

Mesures de nivellement :

Chaque station a fait l'objet d'une prise de mesure de nivellement. Ce nivellement a été réalisé à l'aide d'une station topographique de précision (voir matériel mobilisé) permettant de s'affranchir des erreurs de lecture de l'opérateur.

Le nivellement a été réalisé par le biais de mises en station libre par rapport à des points géoréférencés.

Microgravimétrie :

Chaque station a fait l'objet d'une mesure microgravimétrique suivant des cycles de mesures de 1 heure. Ces mesures microgravimétriques ont été systématiquement doublées.

En compléments, 16 stations ont été reprises de façon aléatoire (20% des mesures), conformément aux prescriptions de l'AGAP Qualité (voir figure n°06 ci-dessous). Ces reprises sont effectuées sur des cycles de mesures différents des mesures initiales.

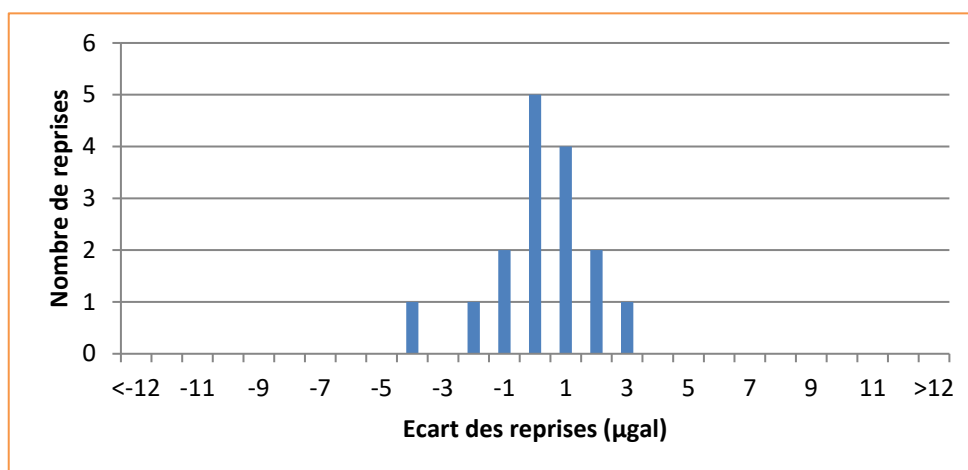


Figure 6 : Histogramme des reprises.

Les données obtenues ont été traitées à l'aide d'une feuille de calcul interne. Les résultats sont présentés sous la forme de cartes d'isovaleurs à l'aide du logiciel SURFER version 28.01.0248 du 4 septembre 2024, produit par la société GOLDEN Software

La carte d'anomalie de Bouguer constitue la carte d'anomalie globale de la zone d'étude. Elle a fait l'objet des corrections suivantes :

- Corrections de dérive (instrumentale et lunisolaire) ;
- Correction de latitude ;
- Corrections d'altitude (correction de Fay + correction de Bouguer) ;
- Corrections des reliefs et structures connues.

Afin de réaliser la correction des reliefs à proximité, un relevé topographique complémentaire a été réalisé afin d'obtenir une cartographie des principales variations de reliefs. Cette carte a été divisée en prismes unitaires de 0.25cm de côté. L'effet cumulé des prismes sur chacune des stations microgravimétrique a été calculé à partir des formules de Nagy (1966).

Les calculs ont été réalisés pour une densité moyenne de 1.8 et une base située à la stations n°8-4.

L'écart type obtenu avec les reprises est de 1.6 μ gal. Cette valeur est représentative de la qualité des mesures. On admet que le seuil de signification correspond à deux fois l'écart type. Il est donc de 3.2 μ gal, arrondi à 4 μ gal. Le seuil d'anomalie couramment utilisé pour ce type de cavité est de 10 μ gal. Le seuil de signification, est donc bien inférieur au seuil d'anomalie et valide la procédure d'acquisition mise en place.

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques de cette étude :

Densité moyenne de site	1.8
Base	8-4
Nombre de stations	76
Durée d'acquisition	30 secondes
Nombre de reprises	16 (20%)
Ecart type des reprises	1.6 μ gal
Seuil de signification retenu	4 μ gal

Il est usuel d'enlever de l'Anomalie de Bouguer, l'anomalie dite « régionale ». Celle-ci est due aux variations de masses profondes, sans intérêt pour la prospection microgravimétrique.

L'anomalie régionale est obtenue graphiquement par lissage de plusieurs profils extraits de la carte d'anomalie de Bouguer (cf. figures 7).

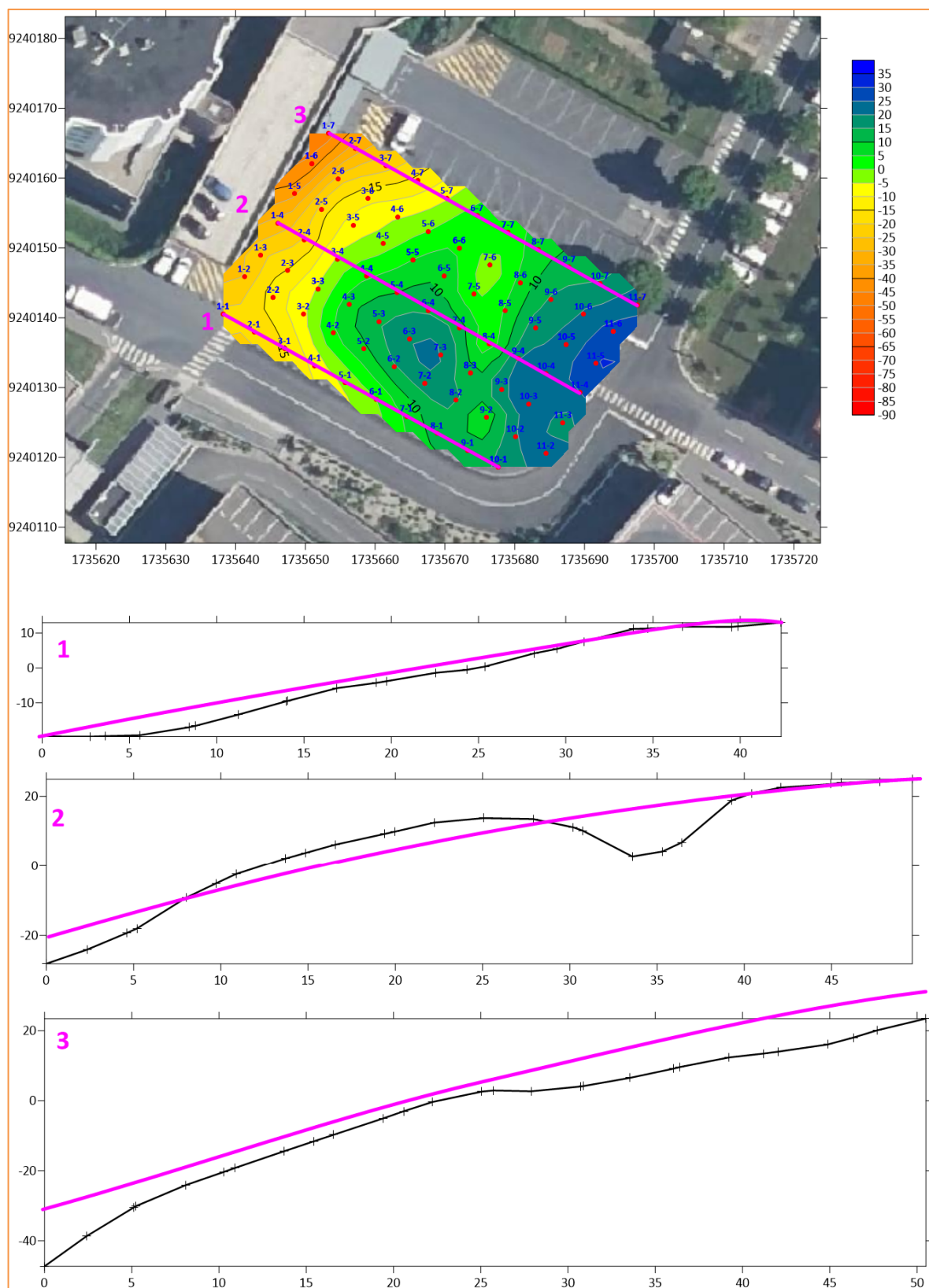


Figure 7 : établissement de l'anomalie régionale.

D. RESULTATS DE L'INVESTIGATION

D.1. Documents remis en annexes

• Annexe 3 : Principe de la méthode employée (6 pages)

☐ Méthode Microgravimétrie.

• Annexe 4 : Résultats de l'investigation géophysique (8 planches)

☐ Planche n°01 : Implantation et nomenclature des stations microgravimétriques ;

☐ Planche n°02 : Carte de nivellement relatif ;

☐ Planche n°03 : Carte d'anomalie de Bouguer ;

☐ Planche n°04 : Carte de correction de reliefs ;

☐ Planche n°05 : Carte d'anomalie de Bouguer corrigée ;

☐ Planche n°06 : Carte d'anomalie régionale ;

☐ Planche n°07 : Carte d'anomalie résiduelle ;

☐ Planche n°08 : Carte de synthèse.

D.2. Prise en compte des données à notre disposition

Aucune donnée technique ne nous a été fournie dans le cadre de cette étude.

D.3. Synthèse de l'investigation géophysique

En microgravimétrie, plusieurs anomalies différentes (taille, profondeur, densité) peuvent donner une même signature. Les seules données microgravimétriques ne suffisent donc pas à déterminer de façon unique la cause de ces déficits de masse en profondeur.

Il a donc été nécessaire de contrôler les anomalies mises en évidence sur la zone du projet par des sondages afin de déterminer l'origine de ces anomalies.



Figure 8 : Carte d'anomalie résiduelle

La carte d'anomalie résiduelle met en évidence 2 anomalies négatives significatives notées A et B.

L'anomalie A est d'intensité faible avec un maximum de $-14\mu\text{gal}$. Elle concerne 5 stations et son gradient est faible. Elle peut trouver son origine dans des terrains de surface décomprimés ou dans un vide franc plus profond. Dans le second cas une modélisation recoupant l'anomalie évalue le toit à 5m de profondeur.

L'anomalie B est d'intensité moyenne avec un maximum de $-17\mu\text{gal}$. Elle concerne 3 stations et son gradient est modéré. Elle se situe en limite Ouest de la zone d'étude et n'est donc pas complètement définie. Il est donc difficile de déterminer son origine.

On note également la présence de 2 anomalies ponctuelles aux stations n° 9-2 et 10-7.

D.4. Recommandations au prescripteur

Les méthodes géophysiques sont toujours accompagnées de sondages de contrôle pour vérification des anomalies. Il est donc recommandé de réaliser une série de sondages au droit de chaque anomalie négative considérée comme significative pour valider les hypothèses de l'investigation géophysique. (cf. annexe 5)

L'implantation des sondages devra être faite à partir des repères mis en place lors de notre investigation (point de bombe avec n° de station). Ces sondages devront être réalisés avec enregistrement des paramètres. Un étalonnage des enregistrements de paramètres pour une chute d'outils devra être fait en début et en fin de sondage. Ils doivent être réalisés de préférence en rotation et en gros diamètre (90 voire 120 mm).

Il est recommandé de réaliser au moins un sondage avec enregistrement de paramètres au droit d'une anomalie positive afin de valider les paramètres utilisés lors de l'élaboration de la carte d'anomalie résiduelle.

Dans le cas où ces sondages mettraient en évidence des cavités, ils devront être équipés d'un tube PVC de réservation, jusqu'au toit de la cavité, afin de permettre la réalisation de passage caméra.

Les résultats de la campagne de sondages de contrôle devront nous être communiqués pour que nous puissions valider définitivement, la carte d'anomalie résiduelle et le choix de l'anomalie régionale.

Ce rapport conclut l'investigation qui nous a été confiée.



ANNEXES

I. ENCHAINEMENT DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P94-500) – I PAGE

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés ci-après. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Enchaînement des missions GI à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, Esquisse, APS	Études géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonctions des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Études géotechniques de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE/ACT		Consultation sur le projet de base/choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude de suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécutions (G3) Phase Suivi (en interaction avec la Phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante

Février 2014

2. MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NORME NF P94-500) – I PAGE

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases:

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases:

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participé à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives:

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques: notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs: plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives:

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.

Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

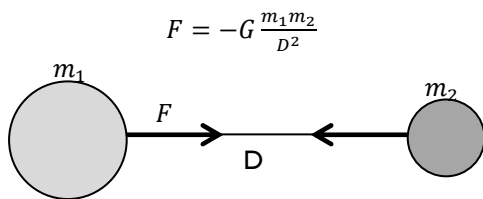
Février 2014



3. PRINCIPE DE LA METHODE

1 PRINCIPE

La gravimétrie consiste à étudier les variations du champ de pesanteur au niveau de la surface du sol. Elle repose sur la loi de l'attraction universelle de Newton :



$$F = -G \frac{m_1 m_2}{D^2}$$

F : force appliquée sur la masse m_2
G : Constante universelle de la gravitation
D : distance entre les masses m_1 et m_2

Cette force F fait subir une accélération g à une masse m située à proximité. Ceci est décrit par la seconde loi de Newton :

$$F = mg$$

Ainsi à la surface du sol, l'accélération d'une masse m s'exprime par :

$$g = -\frac{GM_T}{R_T^2}$$

M_T : Masse de la Terre (5.9736×10^{24} kg)
 R_T = Rayon moyen de la Terre (6370 km)
 g : accélération de gravité (9.797 m/s^2)

L'unité de l'accélération gravitationnelle est le **gal**.

$$1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ mgal} = 10^{-3} \text{ gal}$$

Ces lois traduisent le fait suivant : toute variation de masse produit une anomalie locale du champ de gravité terrestre.

Les microgravimètres actuels ont une précision de l'ordre du μgal soit 10^{-8} m/s^2 ce qui correspond pratiquement au milliardième de g .



2 DISPOSITIFS

Les mesures sont réalisées selon une maille carrée permettant d'avoir au moins 3 points adjacents en dessous de $10\mu\text{gal}$.

La taille de la maille varie suivant la profondeur et le volume de la cible.

3 MISE EN ŒUVRE

Au droit de chaque station située sur un terrain meuble, un décapage sera réalisé (cf photo ci-dessous).



Ceci permet d'enlever la partie la plus décomprimée du sol et ainsi garantir une meilleure stabilité de l'appareil

Les mesures sont réalisées sur une durée minimale de 30 sec. Celle-ci peut être augmentée dans le cas de sites perturbés (vibrations ...).

Chaque mesure est systématiquement doublée. Si l'écart entre les deux valeurs est trop grand, une nouvelle mesure est alors effectuée jusqu'à obtenir des mesures stables. Seules les deux valeurs les plus proches sont retenues et moyennée pour réaliser les calculs par la suite.

Une fois la totalité des mesures réalisées, 20% de celles-ci sont reprises de façon aléatoire, conformément aux prescriptions de l'AGAP.

Lors de chaque mesure, la hauteur du trépied est mesurée afin d'être corrigée. En effet, en microgravimétrie, 1cm d'erreur en altitude, entraîne une erreur de $3\mu\text{gal}$. Les piques du trépied étant de 6cm, si la hauteur de ce dernier n'est pas corrigée, on peut avoir une erreur de l'ordre de $18\mu\text{gal}$ entre un trépied non enfoncé (enrobé) et un trépied complètement enfoncé (herbe).

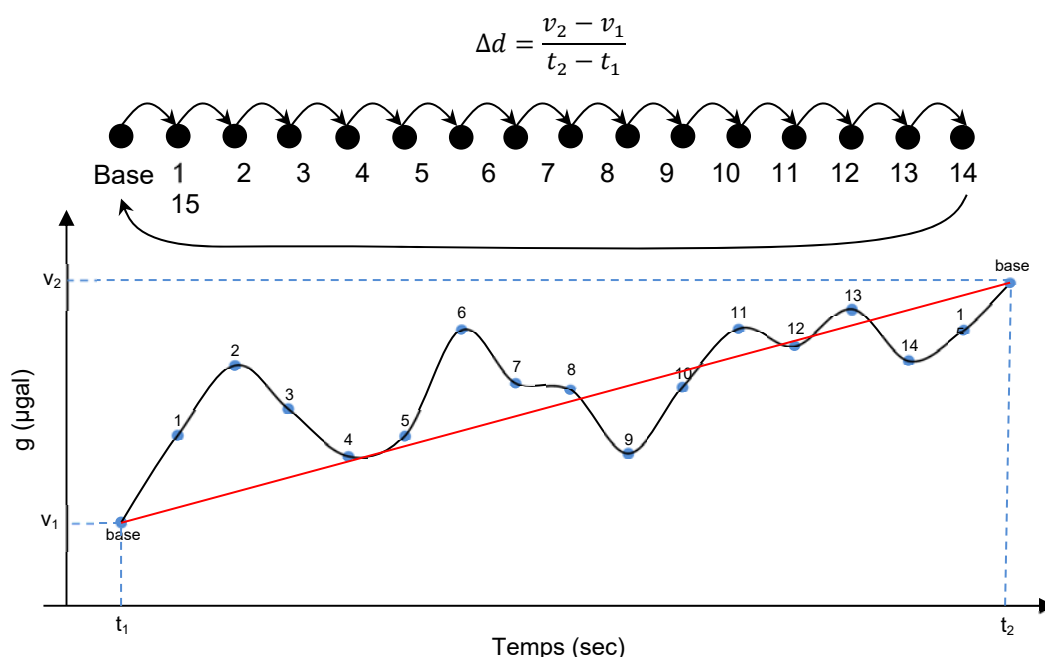
Tout cela permet d'avoir un seuil de signification inférieur à $10\mu\text{gal}$ dans la grande majorité des cas.

Afin de mettre en évidence les variations du champ gravitationnel causées par la géologie, il est nécessaire de corriger les mesures de toutes les autres causes extérieures (dérive de l'appareil, dérive lunisolaire, relief, ellipticité de la terre, ...).

Correction de dérives

Un micro gravimètre est sujet à deux types de dérives : la dérive lunisolaire provoquée par l'interaction de la lune et du soleil et la dérive instrumentale qui est due à la fatigue de l'appareil. La dérive lunisolaire peut être calculée d'après les formules de LONGMAN suivant la latitude/longitude et l'heure.

La correction instrumentale se fait par le biais de cycles de mesures. Une base est définie pour l'ensemble de la reconnaissance et tous les cycles commencent et terminent par la base. La différence de valeur de la base entre le début et la fin du cycle s'explique par la dérive instrumentale. Ainsi pour des valeurs v_1 et v_2 de la station de base aux temps t_1 et t_2 , le taux de dérive est exprimé ainsi :



Correction de latitude

La rotation ainsi que l'aplatissement de la terre font que g varie en fonction de la latitude. En effet, plus on se déplace vers le nord plus la valeur de g augmente.

$$\Delta_L = 8,1669 \times 10^{-4} \sin(2\phi)l$$

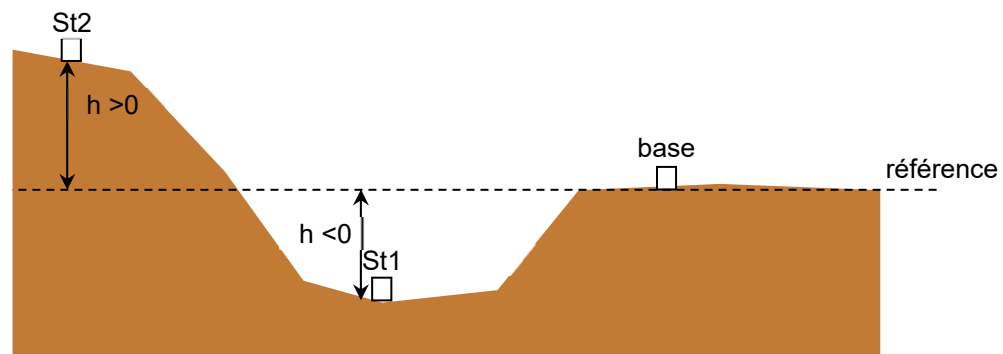
Sous nos latitudes ($\phi = 48^\circ$) elle est de l'ordre de $4\mu\text{gal}$ pour 5m de déplacement par rapport au Nord.

Correction à l'air libre

Les points de mesures présentent des variations du fait de leur altitude. En effet, plus on se rapproche du centre de la Terre, plus la valeur de g sera forte, et inversement. Ainsi, afin de pouvoir interpréter les données en fonction du sous sol, il est impératif de ramener tous les points dans un référentiel équipotentiel, c'est à dire à une altitude de référence : celle de la base.

$$\Delta_H = 0,3086h \mu\text{gal} \text{ (pour } h > 0 \text{ en mm)}$$

Pour avoir une précision supérieure à $3 \mu\text{gal}$ il faut donc connaître l'altitude des points à moins d'1 cm.

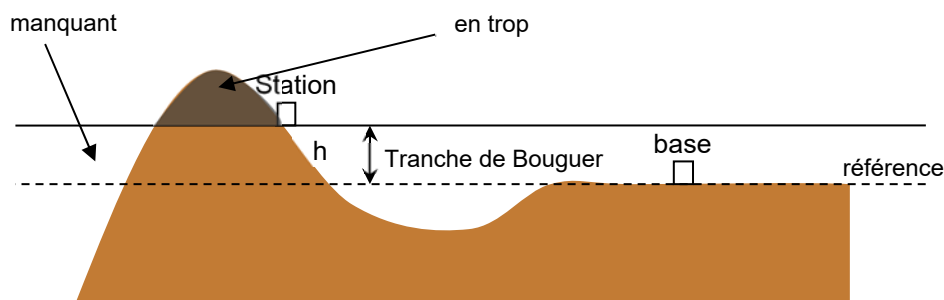


Correction de plateau

La correction de plateau tient compte de la tranche de sol comprise entre le niveau de référence (base) et le niveau de la station. Elle est approximée par un plateau infini.

L'attraction d'une tranche de sol de hauteur h est donnée par l'expression suivante :

$$\Delta_p = 2\pi \cdot G \cdot \sigma \cdot h$$
$$\Delta_p = -41,9 \cdot \sigma \cdot h \text{ (pour } h > 0 \text{ en mm)}$$



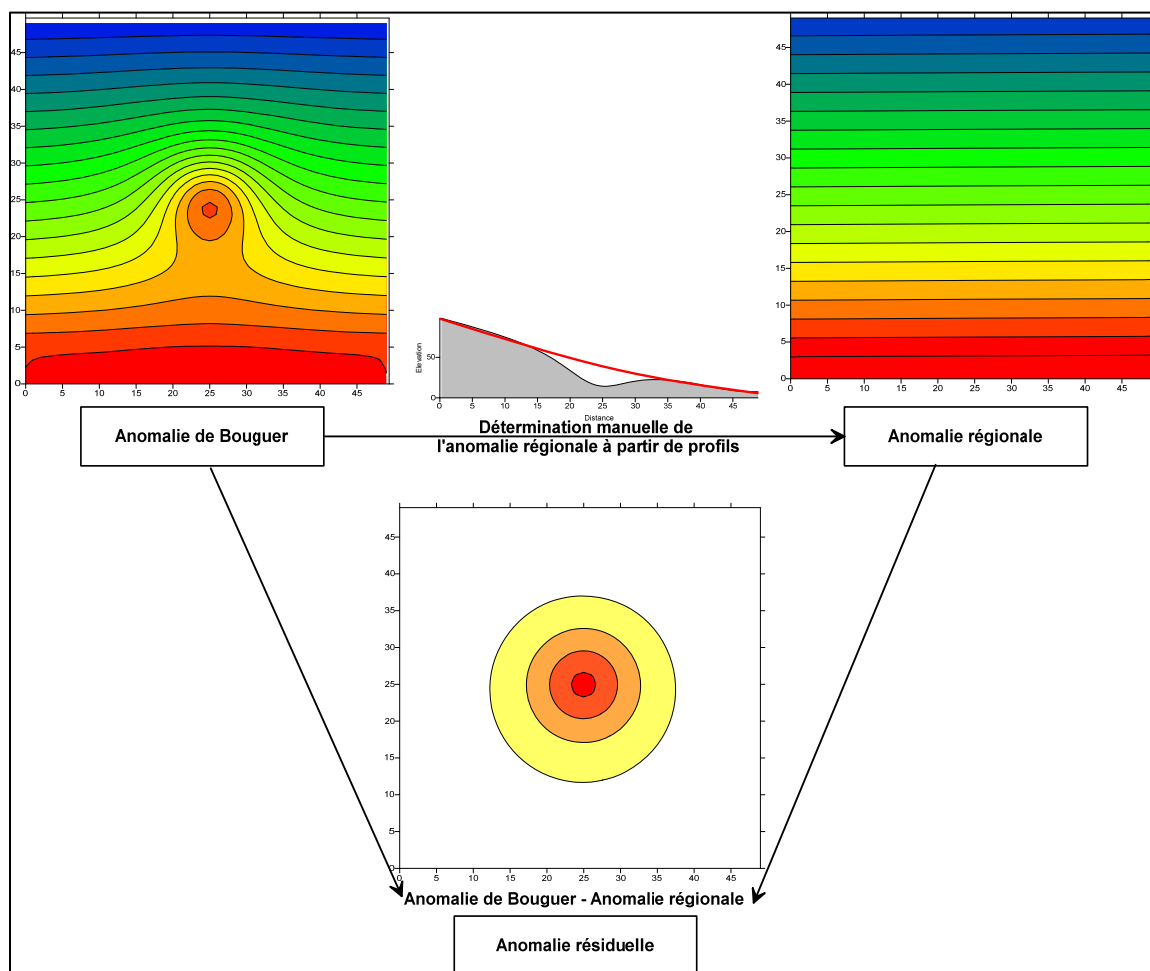
Anomalie de Bouguer

L'anomalie de Bouguer correspond à la réponse gravimétrique causée par les contrastes de densité du sous-sol car elle s'affranchit de toutes les influences externes. Elle correspond donc à la valeur mesurée à laquelle on soustrait toutes les corrections.

L'ensemble des corrections qui ont été citées forment la correction de Bouguer.

Anomalie résiduelle

A partir de la carte d'anomalie de Bouguer, une carte d'anomalie régionale est réalisée. Celle-ci a pour but d'effacer les événements de grandes amplitudes attribués à la géologie régionale après soustraction. L'anomalie régionale est obtenue par un tracé manuel à partir de profils extraits de la carte d'anomalie de Bouguer. Ces profils doivent suivre les grandes tendances (attribuées à la géologie profonde) sans tenir compte des variations de petites longueurs d'onde (attribuées aux variations en proche surface)



La carte d'anomalie résiduelle ainsi obtenue constitue l'interprétation géophysique finale. Elle met en évidence des zones d'anomalies négatives (ou de " déficit de masse ") susceptibles d'être attribuées la présence de cavités en sous-sol.

5 MATERIEL

Pour la réalisation des mesures microgravimétriques, le microgravimètre utilisé pour cette étude est un microgravimètre de marque Scintrex et de type CG5-Autograv. Ce microgravimètre dernière génération est donné avec une répétitivité inférieure à 5µgals.

Pour le nivellement, un niveau électronique avec une mire à code barre est utilisé. Le niveau est de marque Leica et de type Sprinter 150M. Il permet d'avoir une précision millimétrique. L'enregistrement des mesures dans l'appareil permet d'éviter les erreurs de notation par exemple.

6 REFERENTIEL TECHNIQUE

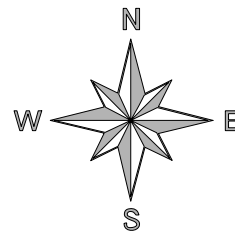
L'étude microgravimétrique réalisée respecte les recommandations de L'AGAP et du COPREC.



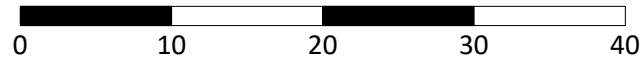
4. RESULTATS DE L'INVESTIGATION

Implantation des stations microgravimétriques

date	réalisé / modifié par	FONDASOL Département Géophysique et Mesures 8 rue Abo Volo 14120 Mondeville
20/11/2024	J.PAILLE	



Echelle (A4) : 1/500
Système de coordonnées : RGF93 CC50



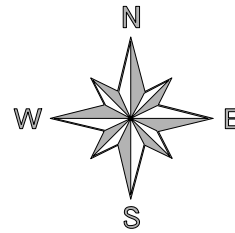
Légende :

1-1 Station microgravimétrique n°1-1



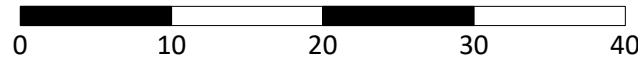
Carte de nivellement relatif

date	réalisé / modifié par	FONDASOL Département Géophysique et Mesures 8 rue Abo Volo 14120 Mondeville
20/11/2024	J.PAILLE	



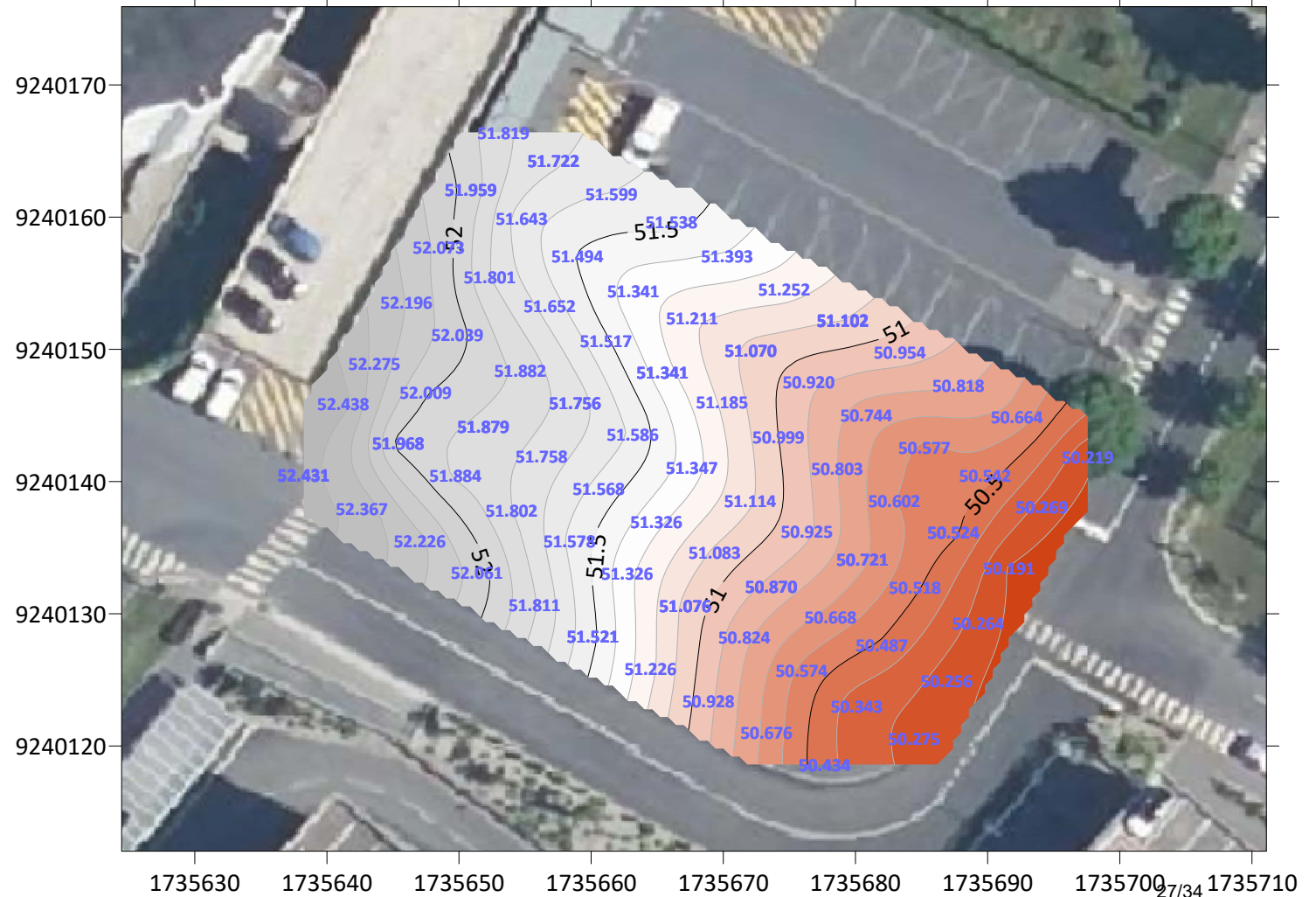
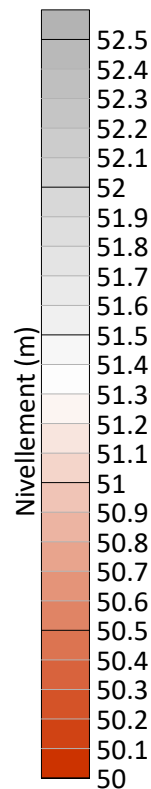
Echelle (A4) : 1/500

Système de coordonnées : RGF93 CC50



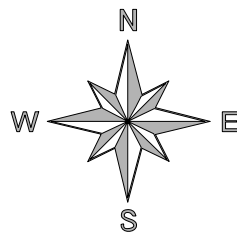
Légende :

0.100 Nivellement au droit de la station (m)

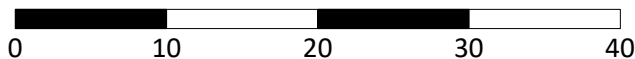


Carte d'Anomalie de Bouguer

date	réalisé / modifié par	FONDASOL Département Géophysique et Mesures 8 rue Abo Volo 14120 Mondeville
20/11/2024	J.PAILLE	

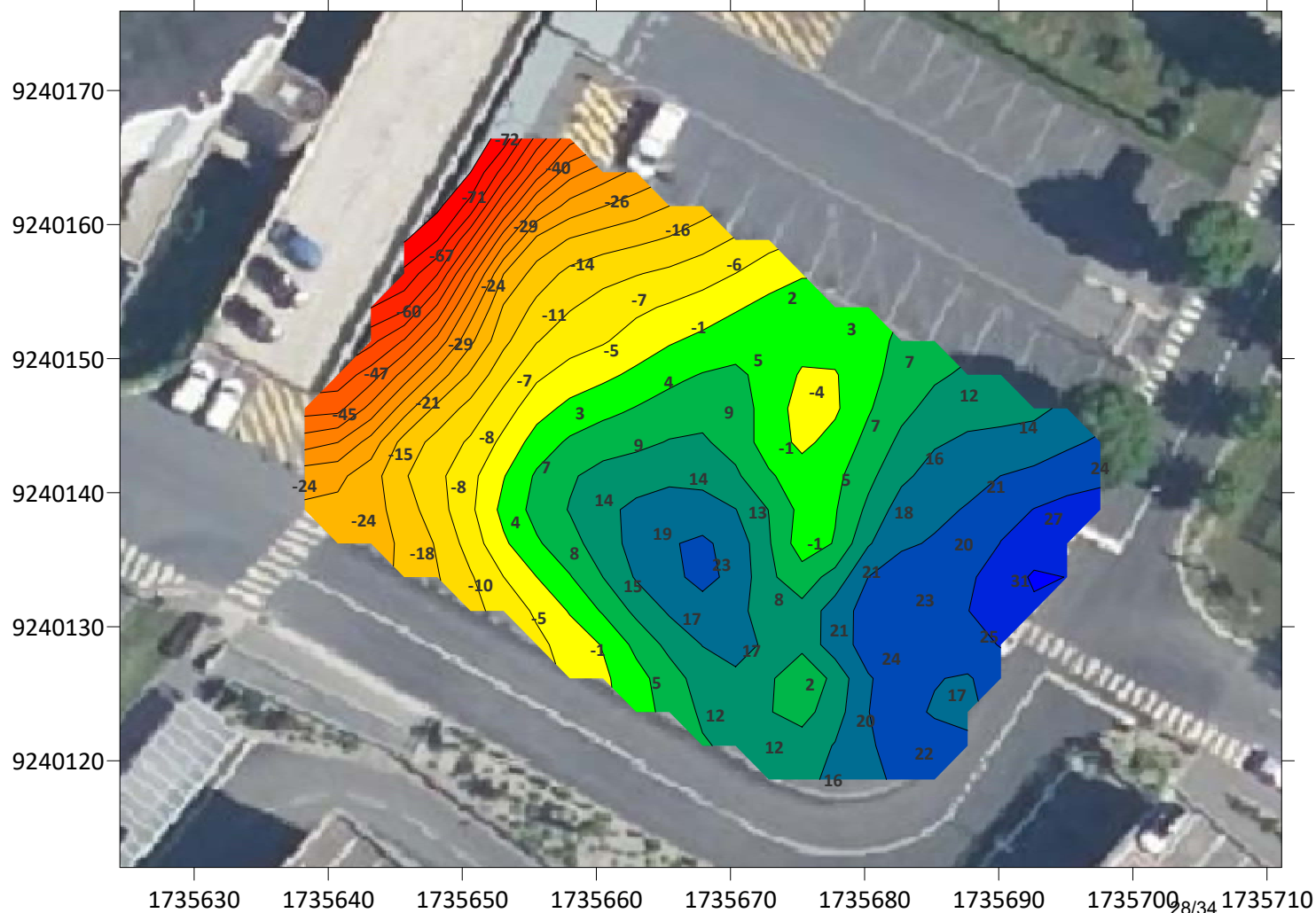
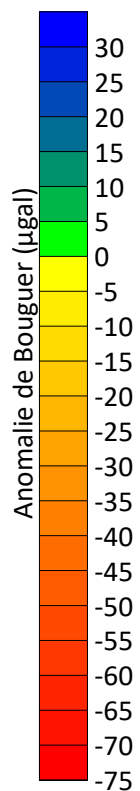


Echelle (A4) : 1/500
Système de coordonnées : RGF93 CC50



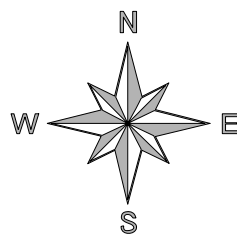
Légende :

10 Anomalie de Bouguer au droit de la station (μgal)

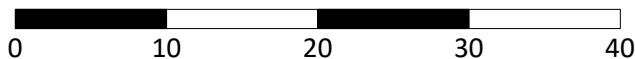


Carte d'effet des reliefs et des structures

date	réalisé / modifié par	FONDASOL Département Géophysique et Mesures 8 rue Abo Volo 14120 Mondeville
20/11/2024	J.PAILLE	

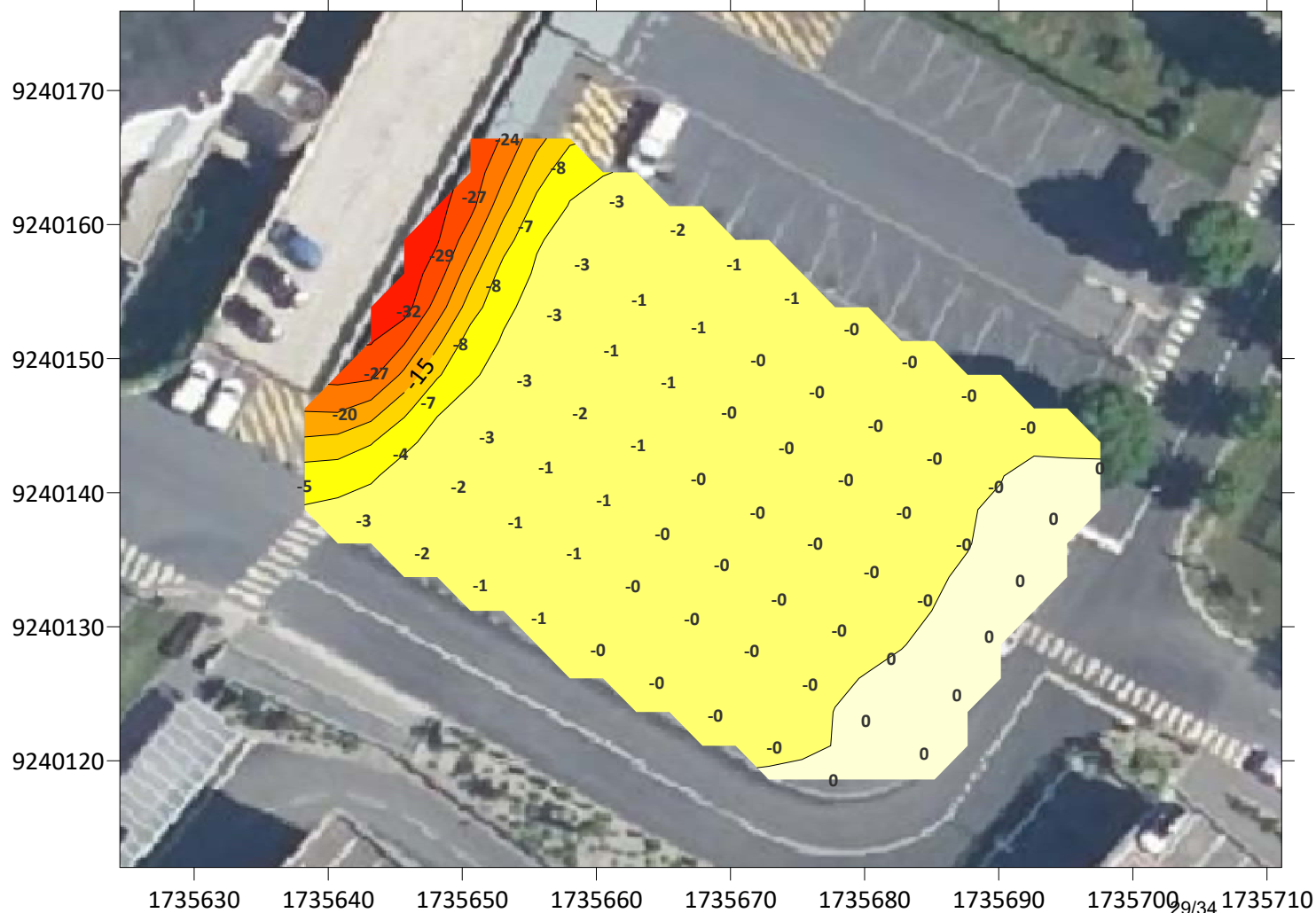
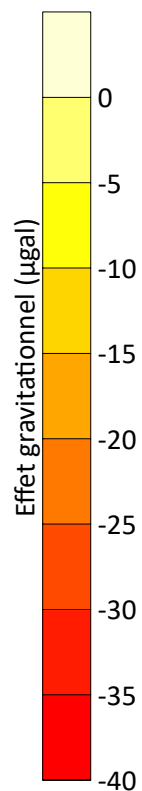


Echelle (A4) : 1/500
Système de coordonnées : RGF93 CC50



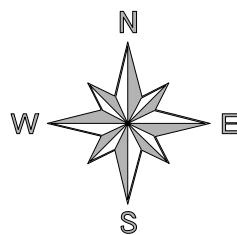
Légende :

- 10 Influence gravitationnelles du relief et des structures au droit de la station (μgal)

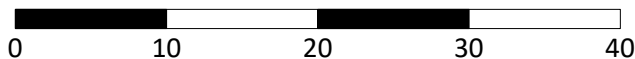


Carte d'Anomalie de Bouguer corrigée

date	réalisé / modifié par	FONDASOL Département Géophysique et Mesures 8 rue Abo Volo 14120 Mondeville
20/11/2024	J.PAILLE	

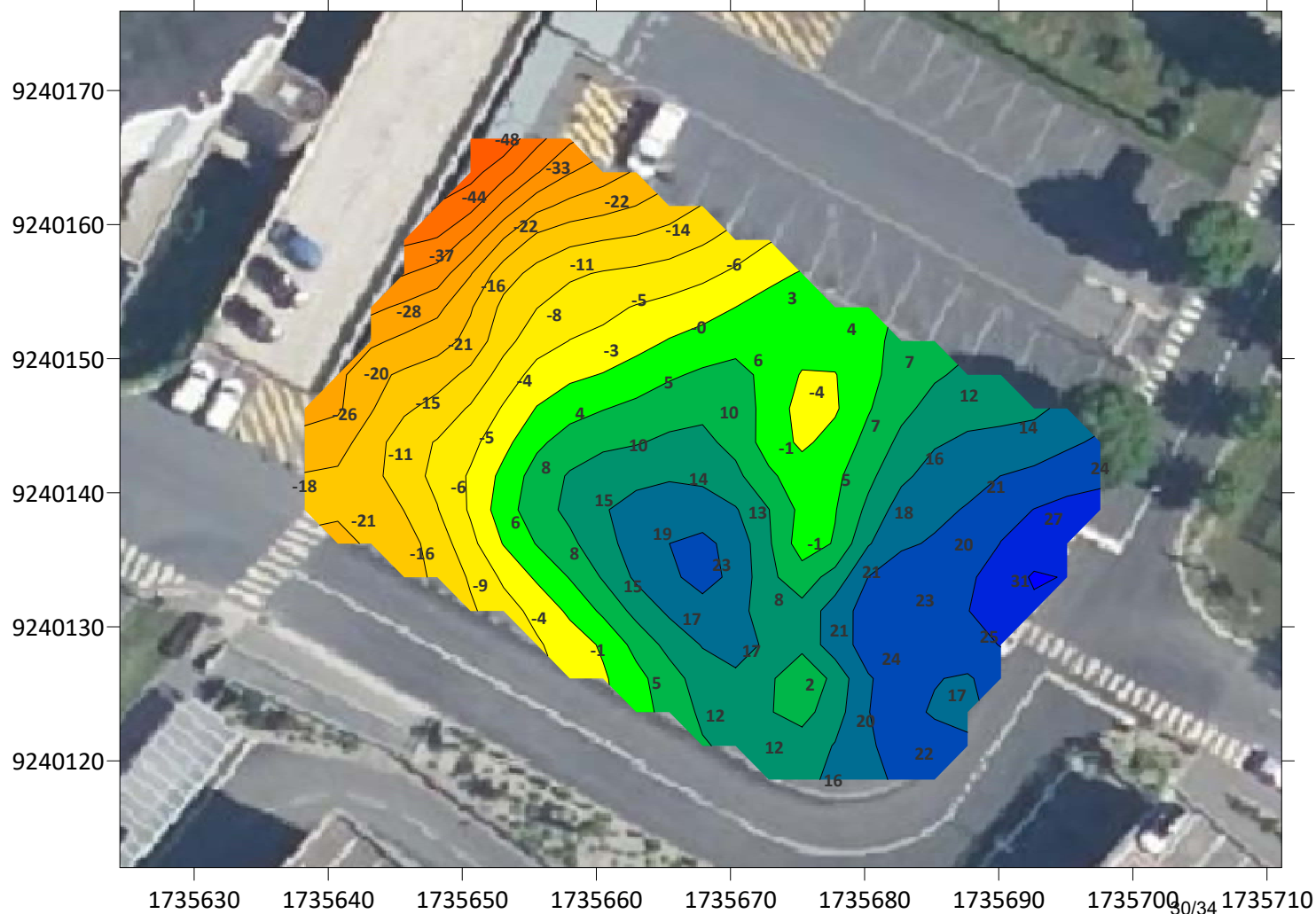
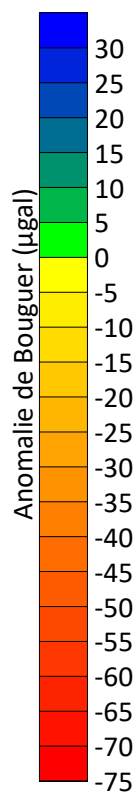


Echelle (A4) : 1/500
Système de coordonnées : RGF93 CC50



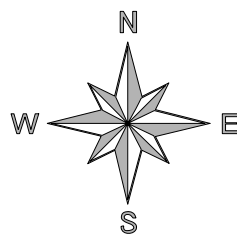
Légende :

10 Anomalie de Bouguer au droit de la station (μgal)

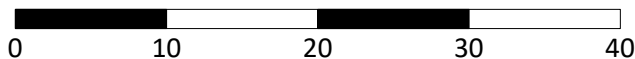


Carte d'Anomalie régionale

date	réalisé / modifié par	FONDASOL Département Géophysique et Mesures 8 rue Abo Volo 14120 Mondeville
20/11/2024	J.PAILLE	

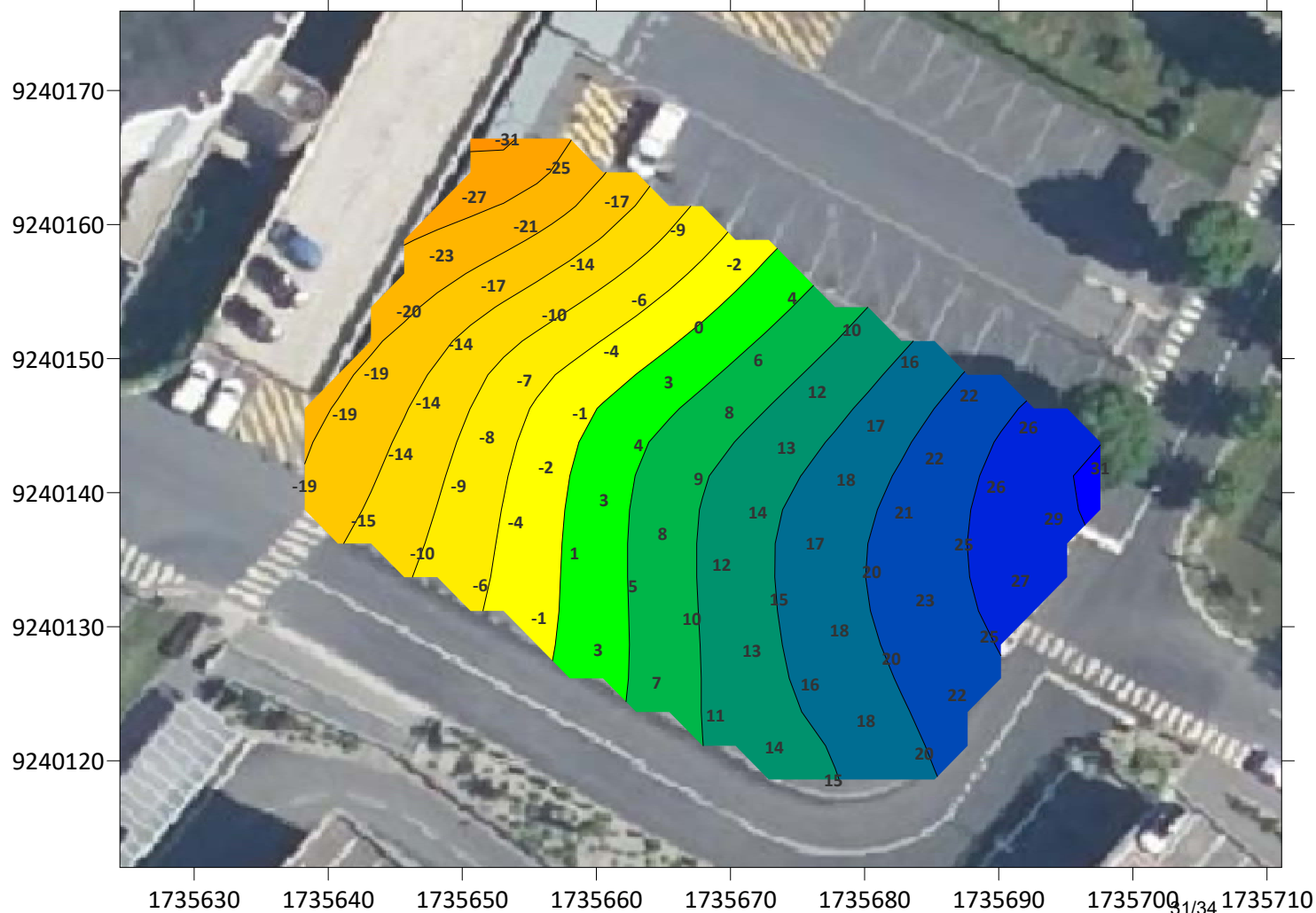
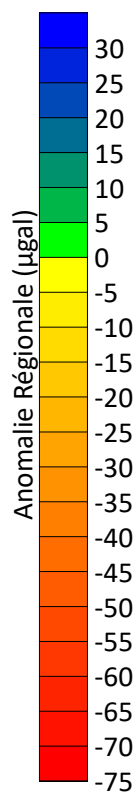


Echelle (A4) : 1/500
Système de coordonnées : RGF93 CC50



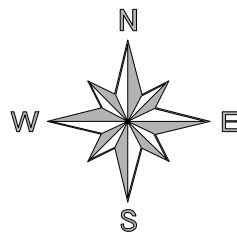
Légende :

10 Anomalie régionale au droit de la station (μgal)

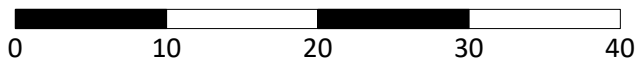


Carte d'Anomalie résiduelle

date	réalisé / modifié par	FONDASOL Département Géophysique et Mesures 8 rue Abo Volo 14120 Mondeville
20/11/2024	J.PAILLE	



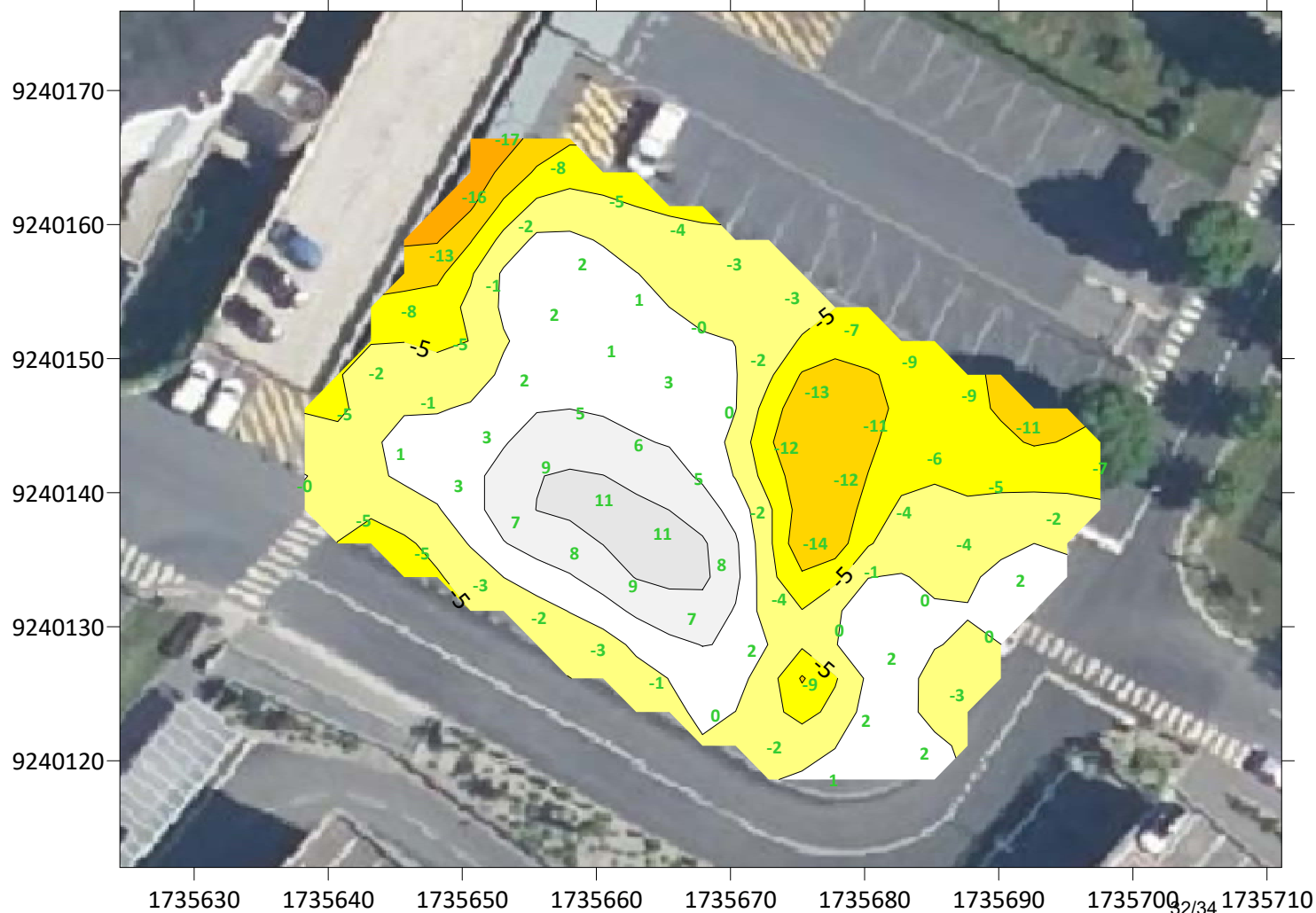
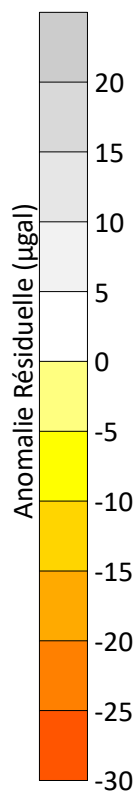
Echelle (A4) : 1/500
Système de coordonnées : RGF93 CC50



Légende :

10 Anomalie résiduelle au droit de la station (μgal)

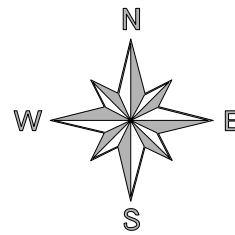
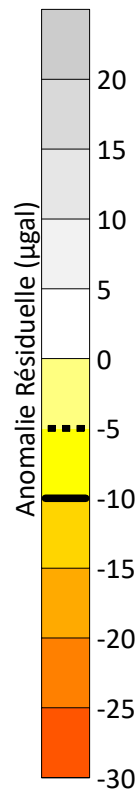
..... isoligne correspondant
au seuil de signification



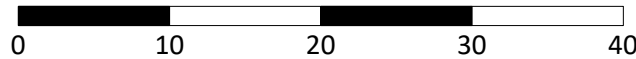
Carte de synthèse

date	réalisé / modifié par
20/11/2024	J.PAILLE

FONDASOL
Département Géophysique
et Mesures
8 rue Abo Volo
14120 Mondeville

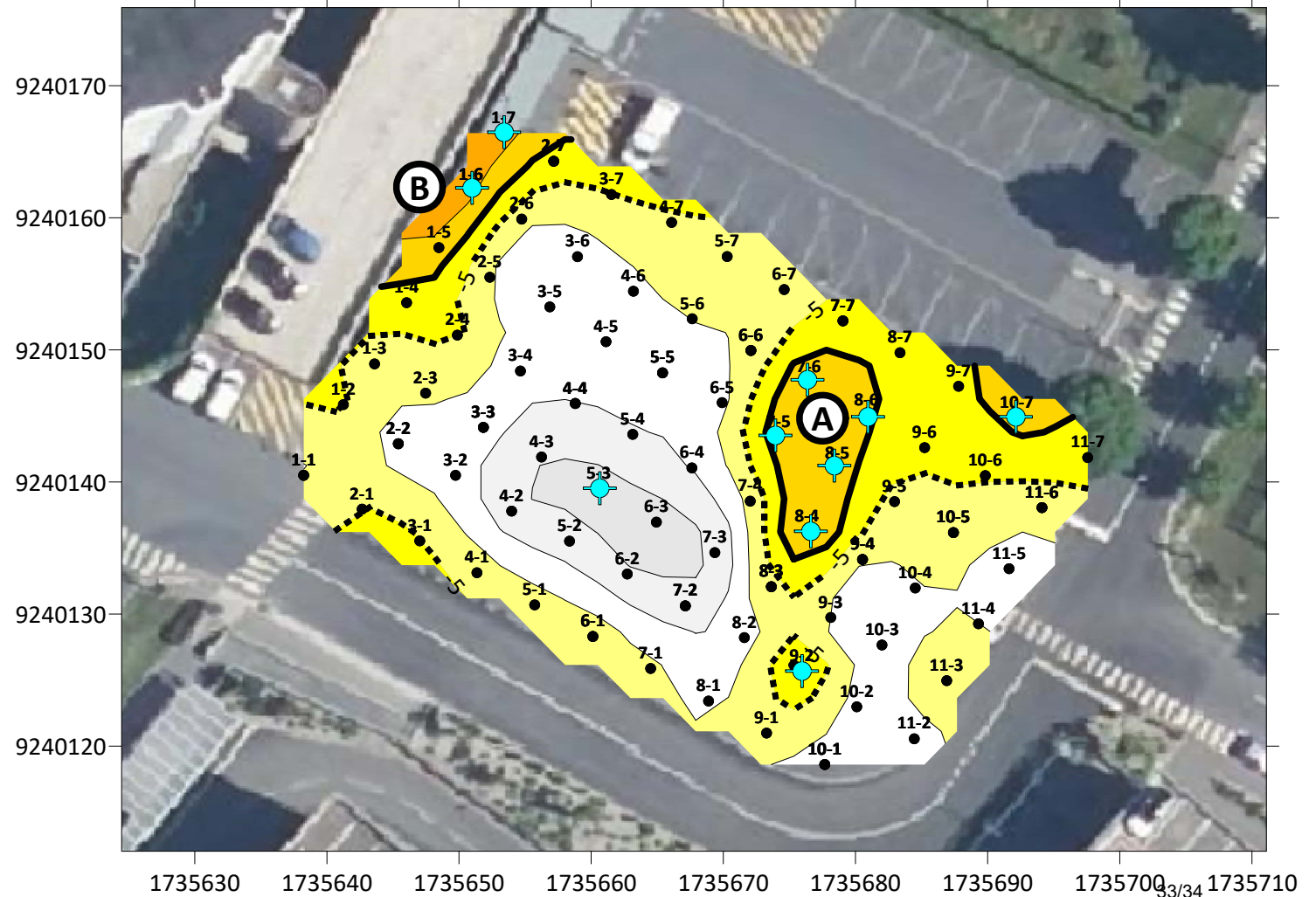


Echelle (A4) : 1/500
Système de coordonnées : RGF93 CC50



Légende :

- 1-1** Station microgravimétrique n°1-1
- isoligne correspondant au seuil de signification
- isoligne correspondant au seuil d'anomalie
- (A)** Anomalie négative significative A
- Sondage de contrôle proposé





www.groupefondasol.com

VOTRE AGENCE

FONDASOL CAEN
8 rue Abo Volo
14120 MONDEVILLE

☎ 02.31.74.31.31

📠 02.31.74.31.22

✉ caen@fondasol.fr