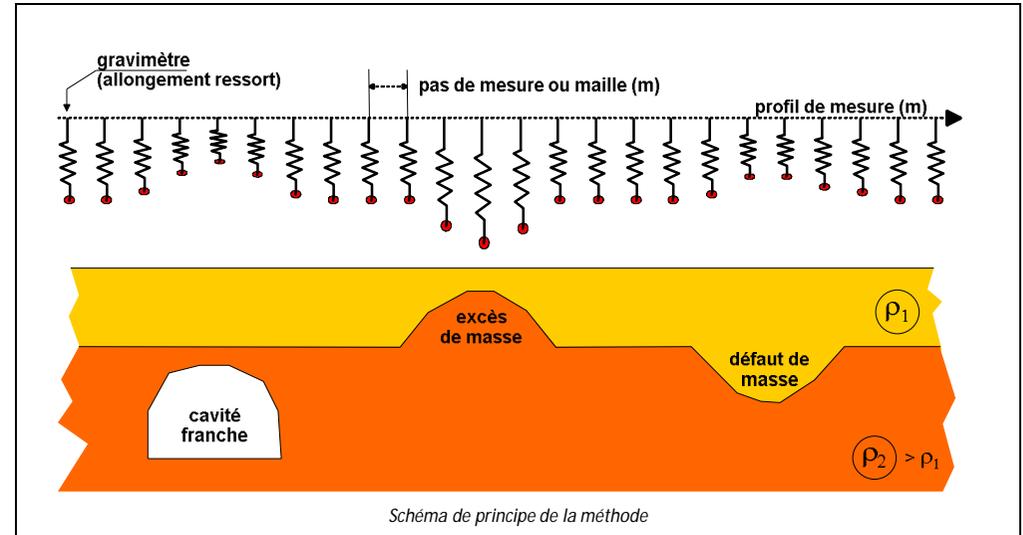


Principe de la méthode

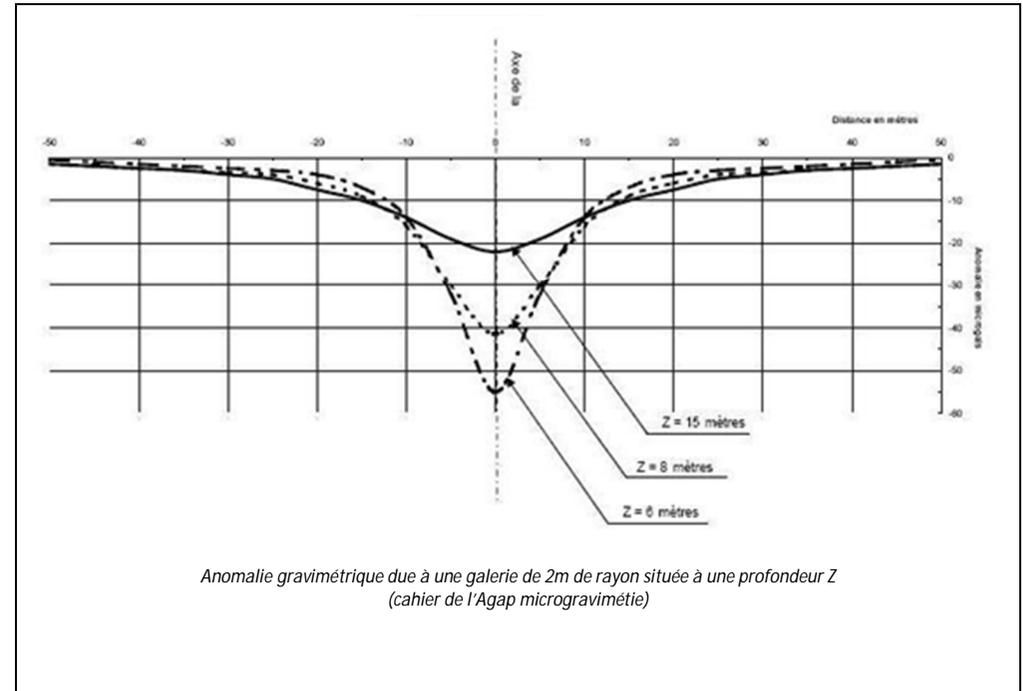
- La méthode microgravimétrique consiste à étudier les variations du champ de pesanteur local par une mesure, à la surface du sol, en plusieurs points d'une zone donnée, en vue d'y établir la répartition de densité du sous-sol (excès et défauts de masse).
- La mesure de variation du champ de pesanteur local, à la surface du sol, s'effectue à l'aide d'un gravimètre de précision, appareil dont le principe est la mise en équilibre d'un poids normé par allongement d'un ressort. L'allongement du ressort est proportionnel à la variation du champ de pesanteur sur l'axe vertical local (composante verticale de l'accélération de la pesanteur).
- Elle se distingue de la gravimétrie par l'échelle des mesures réalisées. L'unité couramment utilisée en microgravimétrie est le μgal (10^{-6} gal, 10^{-8} m/s²).



Applications

La méthode est particulièrement adaptée au diagnostic géotechnique de risque de cavités souterraines, mais d'autres domaines d'application que celui de la géotechnique peuvent être évoqués (hydrogéologie, mines, archéologie, ...).

- Type de problèmes traités :
 - Recherche de cavités anthropiques et naturelles.
 - Mise en évidence de contextes géologiques particuliers (failles, filons, zones décomprimées).
 - Recherches de structures archéologiques enterrées.
- Domaines d'emploi usuels :
 - Génie civil.
 - géotechnique.
 - Archéologie.
 - Mines.
 - Hydrogéologie.
- Profondeur d'investigation :
Dépend du volume de la cible et du contraste de densité entre cible et encaissant. On considère généralement que la tranche concernée par la méthode est la tranche 0 / 50m.



Limitations / Contraintes / Interdits

- Il est nécessaire qu'il y ait un contraste de densité suffisant entre ce que l'on cherche à identifier et son environnement. Dans le cas d'une recherche de cavité, il est important de savoir si la cavité recherchée est ennoyée ou sèche. Dans le cas d'une étude géologique, il convient de s'assurer que le contraste de densité entre les différents horizons présents soit suffisant.
- La mesure étant particulièrement délicate à réaliser, il est impératif d'effectuer ces mesures dans un environnement calme, sans perturbations du type : co-activité en phase travaux, perturbations météorologiques, proximité d'installations industrielles. Une activité sismique, même lointaine, peut interdire la réalisation de mesures.
- La surface sur laquelle sera mise en œuvre la méthode ne doit pas présenter de topographie trop importante (correction de masse de même amplitude que celle de l'anomalie recherchée). La présence de bâtiments, sur la zone d'étude ou à proximité nécessitera un traitement particulier (corrections de défaut de masse).

Une modélisation peut être faite par le prestataire, au stade de la définition du programme technique, pour justifier l'emploi de la méthode, sa capacité de détection, et son programme (nombre de stations, maille de prospection).

Moyens nécessaires à l'acquisition

- Equipements :
 - La méthode nécessite l'utilisation d'un gravimètre de précision. A l'heure actuelle, trois appareils sont reconnus comme ayant une précision suffisante : le gravimètre de marque LACOSTE & ROMBERG, modèle D, dit « microgal », et les gravimètres de marque SCINTREX, modèles CG5 et CG6. Ces appareils doivent être vérifiés périodiquement. (maintenance, étalonnage. Voir spécifications des fabricants).
 - Le nivellement précis de chacune des stations de mesure est impératif, à l'aide d'un outil de nivellement de précision (niveau, théodolite). Ces appareils doivent être vérifiés périodiquement (maintenance, étalonnage. Voir spécifications pour topographes et géomètres.)
- Personnel et compétences :
 - Un opérateur qualifié en mesure microgravimétrique et au nivellement de précision, pour la mise en œuvre. En général, l'opérateur est accompagné d'un aide pour l'implantation et le nivellement.
 - Un géophysicien qualifié pour le traitement et l'interprétation.
 - Un géophysicien senior qualifié pour le contrôle qualité.

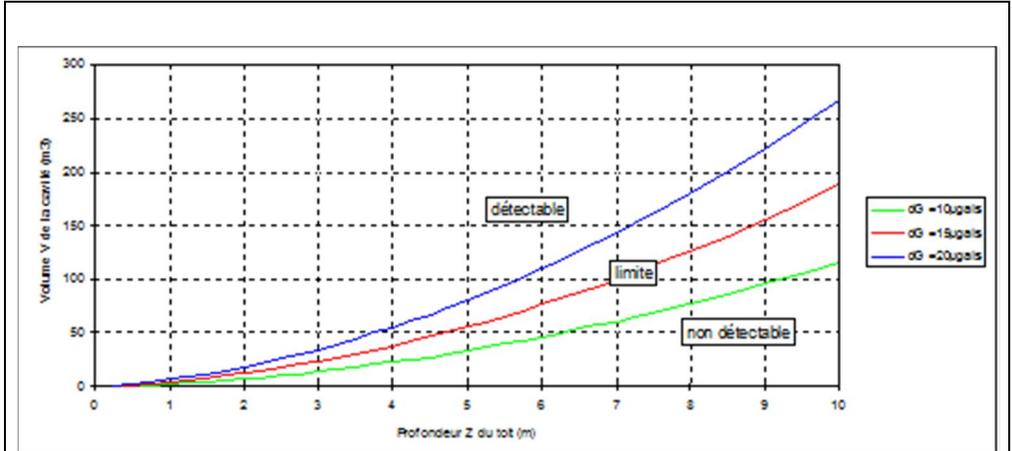


Diagramme « détectabilité d'une cavité »
fonction du volume de vide, de la profondeur et du seuil significatif



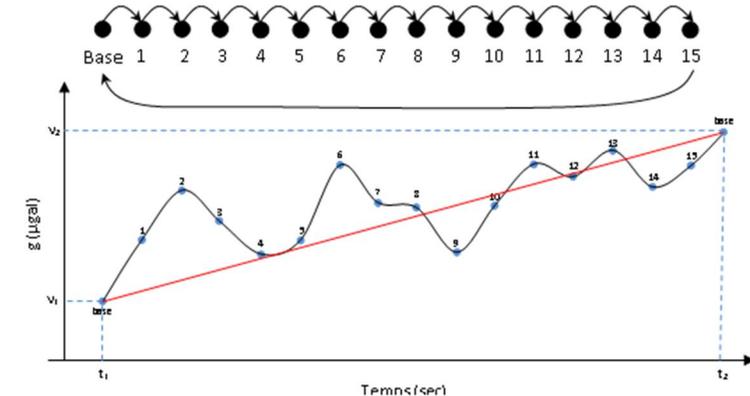
Gravimètre Lacoste & Romberg (à gauche) et gravimètres Scintrex CG5 et CG6 (à droite)

Mise en œuvre

- Etablissement du programme de mesure :
 - Dimensionnement de la maille de prospection par un géophysicien expérimenté en fonction de la profondeur et de la taille de l'objectif, et en fonction du contexte géologique (établissement d'un modèle de cible détectable selon le programme proposé).
 - Définition des paramètres d'acquisition liés aux contraintes du site (temps de mesure, retour à la base...), par un géophysicien expérimenté.
- Travaux préparatoires :
 - L'implantation doit être particulièrement soignée, la position des stations de mesure doit être repérée en X, Y, Z. On doit définir une station de référence pour l'étude (base), voire plusieurs dans le cas de zone d'étude étendue (les bases devront alors être reliées).
 - Sur terrain meuble et instable, il convient, au droit de chaque station de mesure, de réaliser un décapage de la terre végétale pour la stabilité de l'appareil.
 - Le nivellement des stations de mesure doit être effectué avec une erreur inférieure au centimètre, à l'endroit de la mesure. La hauteur du trépied, ou de la coupelle, doit être prise en compte.
- Contrôle Qualité :
 - Les mesures sont réalisées selon des cycles ne devant pas dépasser 1h00 entre deux retours à la base. La dérive instrumentale devra être contrôlée à chaque retour à la base.
 - Au moins 20% des mesures doivent être reprises pour un contrôle qualité. Ces reprises sont réalisées de façon aléatoire. Le contrôle qualité est basé sur une analyse statistique des reprises (écart type).
- Production : Dépend de la difficulté de déplacement sur le terrain et de l'environnement. En moyenne, 60 à 80 stations / jour (hors préparation du terrain et mesures reprises).



Opérateurs en mesure (FONDASOL, CEBTP)



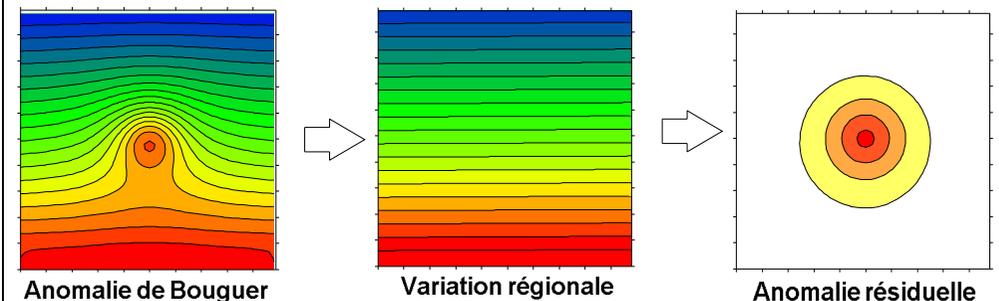
Principe de cheminement lors des mesures

Traitement et interprétation des données

1. Corrections (latitude, lunisolaire, topographique, dérive instrumentale...).
2. Définition d'un seuil significatif (erreur quadratique moyenne inférieure à la moitié de l'amplitude de l'anomalie attendue).
3. Etablissement de la carte de l'Anomalie de Bouguer.
4. Définition de la variation régionale et calcul de l'anomalie résiduelle.
5. Etablissement de la carte du gradient vertical, si justifiée.
6. Individualisation des anomalies de densité et de leur amplitude en μ gals.
7. modélisation éventuelle des dimensions et de la profondeur de l'anomalie détectée.

Production :

1 jour de traitement pour 1 à 2 jours d'acquisition, hors écriture du rapport et cartographie.



Principe d'établissement de l'anomalie résiduelle (Résiduelle = Bouguer - Régionale)

Résultats et livrables

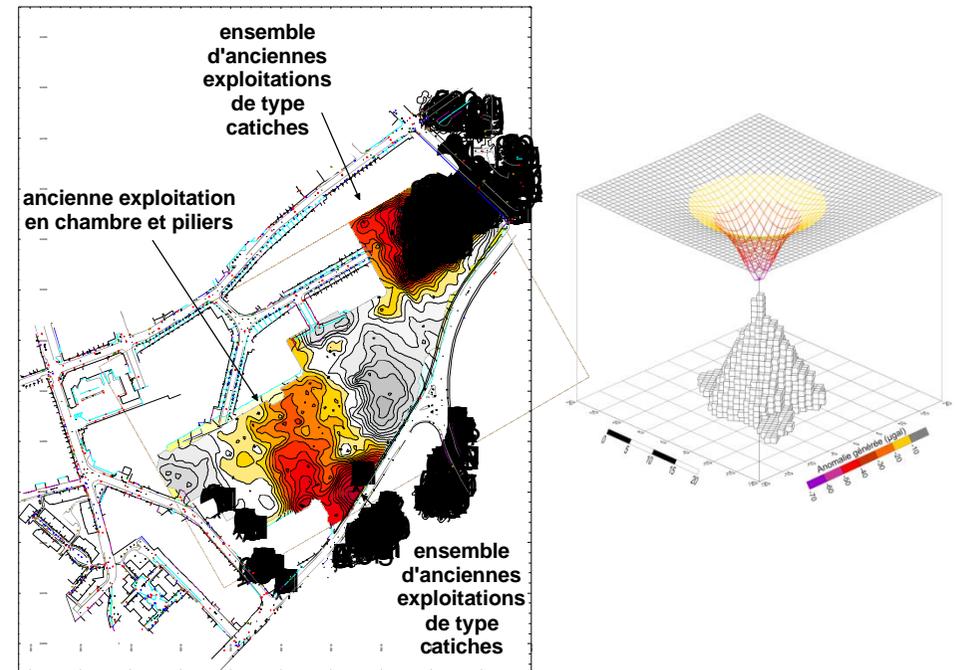
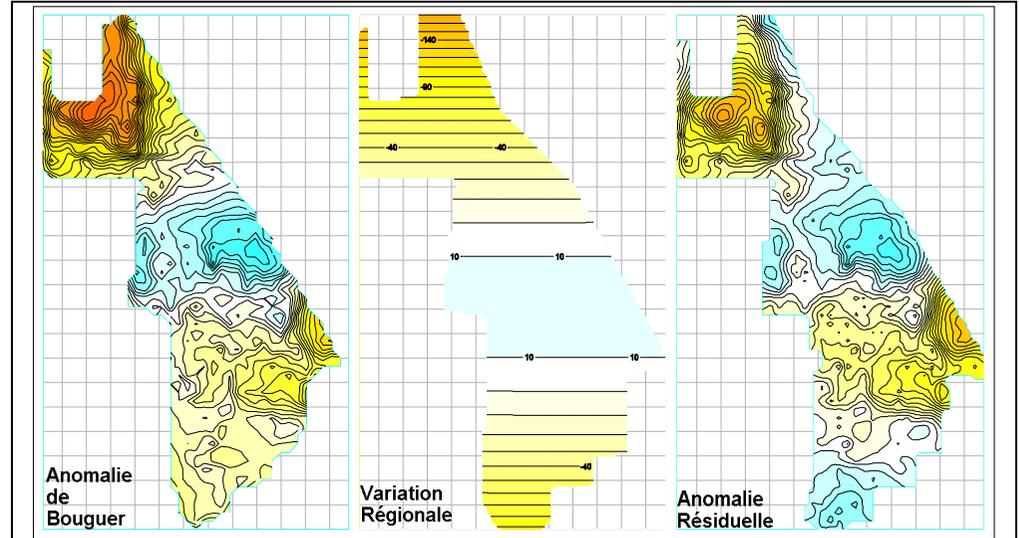
- Les résultats sont généralement présentés sous la forme de cartes ou profils, Anomalie de Bouguer, variation régionale, et anomalie résiduelle avec interprétation quantitative ponctuelle, sur demande.

Rapport d'étude

- Le rapport d'étude comporte plusieurs sections. Un document AGAP spécifiant le plan d'un rapport-type peut être consulté sur le site web (www.agapqualite.org).

La Section Générale rend compte des moyens mis en place et de l'environnement, la localisation, le contexte géologique, l'objectif, le mode opératoire, l'équipement, la méthodologie d'interprétation, etc. Un chapitre doit être consacré à l'analyse statistique des reprises réalisées et à la détermination du seuil de signification (considéré comme deux fois l'écart type moyen des reprises).

- *cartes spécifiques*: carte d'implantation et de nomenclature des stations microgravimétriques, carte de nivellement des stations, cartes de l'Anomalie de Bouguer, carte de la variation régionale, carte de l'anomalie résiduelle sur laquelle figure les sondages géotechniques de contrôle proposés. Les cartes d'anomalies gravimétriques devront tenir compte du seuil de signification (amplitude).
- *carte de Synthèse*: Suivant les objectifs de l'étude, les attentes du client et les termes du contrat, une interprétation (incluant une intégration des résultats avec d'autres méthodes géophysiques et/ou des données géotechniques disponibles) pourra être réalisée. Des compléments d'études seront éventuellement recommandés.
- Le rapport comporte un volume texte et un volume cartographique, sur papier et/ou en format numérique. Les données de terrain pourront être fournies sous forme de fichier de données de type tableur. Une attention particulière doit concerner le positionnement des stations de mesure, le référentiel utilisé et le positionnement des sondages de contrôle ou d'étalonnage proposés en conclusion.



Les différentes étapes dans le cadre d'une étude portant sur la recherche de cavités (traitement des données, carte de synthèse, modélisation des cavités)

Apport à l'étude géotechnique

- Indispensable dans le cadre de missions G5 de diagnostic géotechnique sur problème de cavités anthropiques à faible profondeur.

Quelques densités

(liées à la nature et le degré d'altération du matériau)

Air : 0.0

Eau : 1.0

Terre végétale : 1.3 à 2.2

Limons des plateaux: 1.6 à 2.0

Argiles : 1.6 à 2.4

Craie : 1.6 à 2.4

Marnes : 1.7 à 2.6

Calcaires : 2.0 à 2.8

Grès: 1.8 à 2.6

Schistes : 2.2 à 2.6

Granite : 2.5 à 2.8

Quartzite : 2.5 à 2.7

Basalte massif : 2.7 à 3.3

béton : 2.4

Dialogue donneur d'ordre / prestataire

A la charge du donneur d'ordre

- Cahier des charges détaillé avec objectif clair (cible, taille, profondeur, origine)
- Plans et documents relatifs à la zone à prospecter
- Informations concernant les accès et la sécurité du site, et les autorisations administratives.
- Documents relatifs à d'éventuelles investigations antérieures (géophysiques et/ou géotechniques)

A la charge du prestataire

- Proposition explicite : Justification de la méthode proposée, adaptation à l'objectif, description des avantages et limitations, modélisation de l'anomalie générée par cible, précision des mesures et résultats définitifs cohérents.
- Rapport d'étude de qualité professionnelle : Rappel des objectifs, méthodologies appliquées, discussion des résultats, conclusions et recommandations pratiques répondant à la demande du donneur d'ordre.

Pour aller plus loin...

- **1988**, J. Lakshmanan, « traitement et inversion des données gravimétriques : la microgravimétrie, son application aux recherches de vides ». Thèse I.N.P.L.
- **1995**, H.O. Seigel, « a Guide To High Precision Land Gravimeter Surveys ». Document SCINTREX Limited.
- **1988**, Lakshmanan, « Application of microgravity to the assessment of existing structures and structural foundations ». Rapport USARDSG-UK.
- **2015**, J.P.Barron et A.Bouvier, « Microgravimétrie et prospection microgravimétrique : manuel pour la conception et la mise en œuvre". Cahier n°3 de l'AGAP Qualité.

Liens

- www.lacoste&romberg.com,
- www.scintrex.com
- www.georeva.eu