



Journée technique CFMS/AGAP du 22 novembre 2019

« Regards croisés sur les méthodes de reconnaissance géotechnique et géophysique »

L'apport du dimensionnement de cavités par méthode laser 3D en forage à la méthode microgravimétrique

Franck RIVIERE / J. PAILLE : Fondasol Département Géophysique et Mesures Eric PETITJEAN: Fondasol Direction technique







L'apport du dimensionnement en forage de cavités par méthode laser 3D



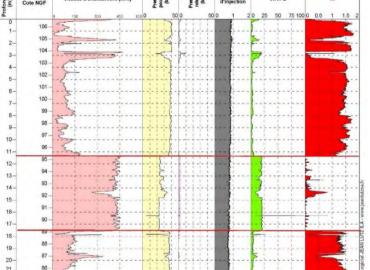




Intérêt des mesures en forage appliquées à la recherche de cavités

La rencontre d'un vide en forage est une information précieuse... mais non suffisante : on ne connaîtra "que" sa profondeur et sa hauteur







Sauf si on a la chance de pouvoir accéder à ces vides...







Couvrelles (02) – sape de guerre 14-18



Roquefort des Corbières (11) : vide karstique



Le Grand Lucé (72) : anciennes carrières 18^{ème} si**èclendas**

De l'intérêt des mesures en forage appliquées à la recherche de cavités



Un forage de recherche de vide n'est pas un simple forage destructif :

- forage en "gros" diamètre,
- forage en rotation,
- Foration à paramètres constants (pression sur l'outil),
- Enregistrement des paramètres de forage,
- Tests de chute d'outil : en tête et en fond de forage,
- Etc.



L'utilisation d'une sonde de dimensionnement 3D permet d'exploiter cette information en donnant la possibilité, en cas de vide franc, de définir les dimensions et la géométrie du vide.



Une fois la sonde dans la cavité, le bras articulé équipé d'un distance-mètre laser est déplié.

L'acquisition est réalisée à raison de 400 points de mesure par seconde, la sonde tournant sur ellemême sur 360° et le bras s'inclinant de 0 à 180° par paliers de 1 ou 2° (250000 points en moyenne par acquisition).







L'orientation du dispositif est contrôlée depuis la surface à l'aide d'un système de tiges de guidage Boretrak.





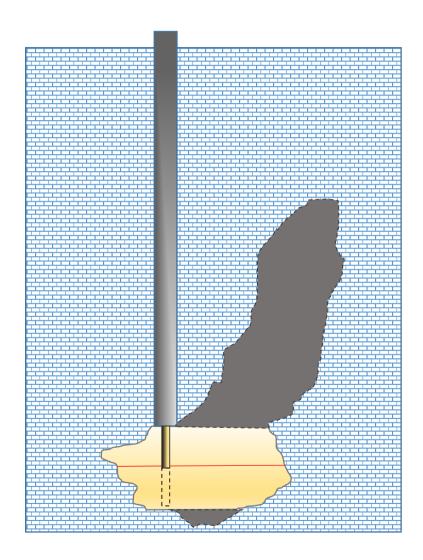


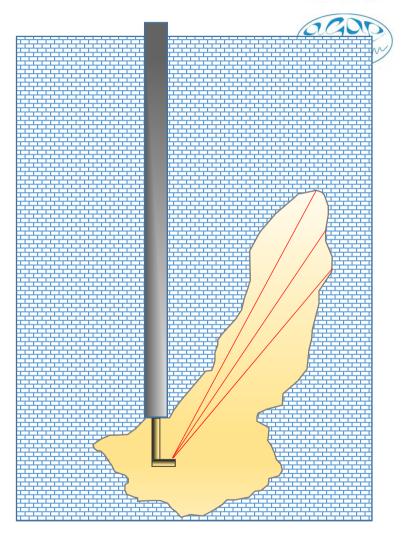




L'évolution de la pratique du dimensionnement : relevé 2D et 3D.

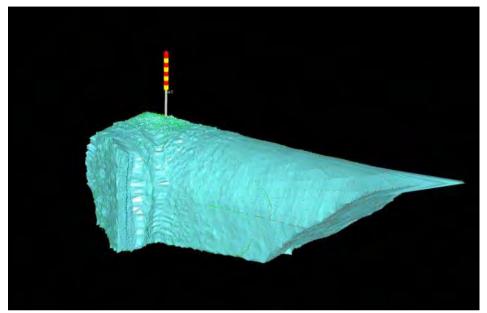


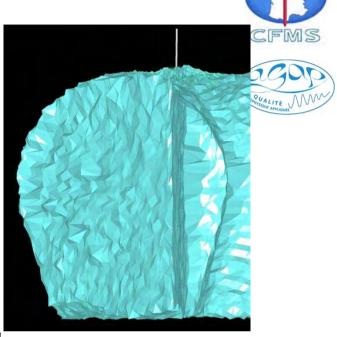


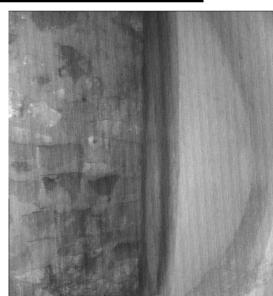




Exemples de dimensionnement 3D de caves









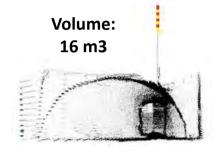
JT CFMS/AGAP du 22/11/2019 – Reconnaissances géotechniques et géophysiques

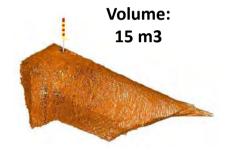
Exemples de dimensionnement 3D de caves (volume compris entre 12m³ et 135 m³)

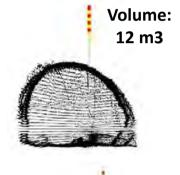


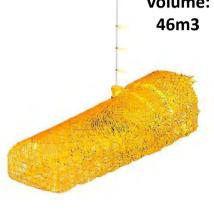


Volume: 46m3

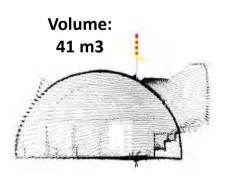


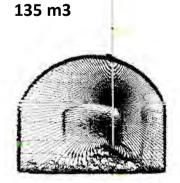




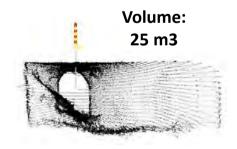








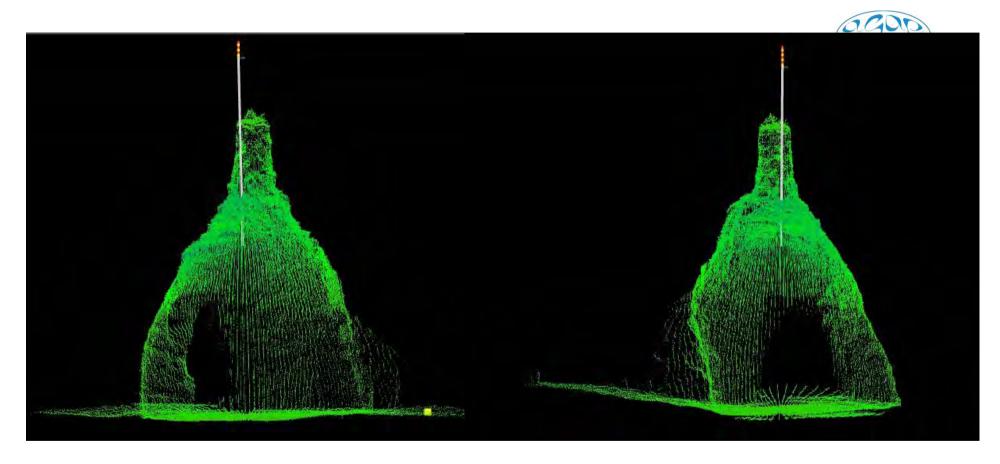
Volume:





Exemples de dimensionnement de catiches



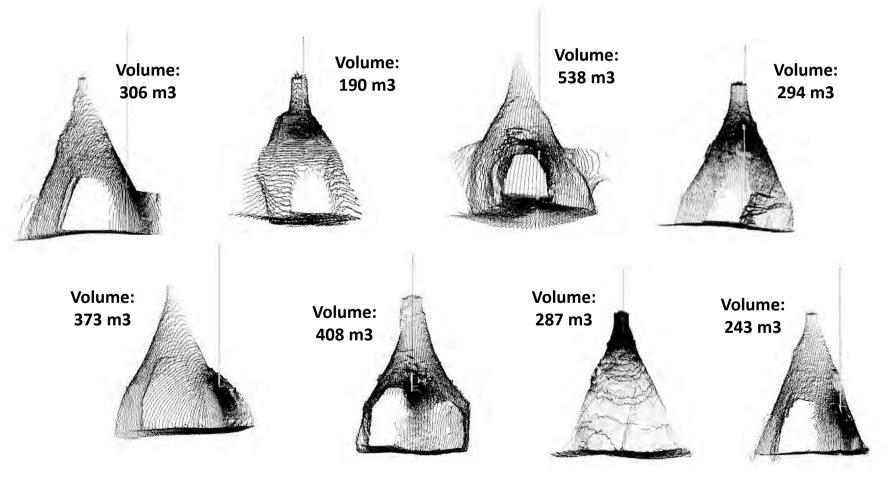




Exemples de dimensionnement de catiches (volume compris entre 190m³ et 540 m³)





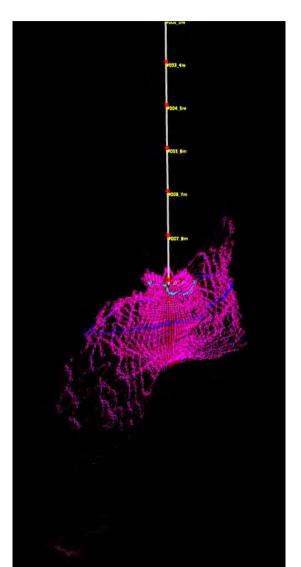


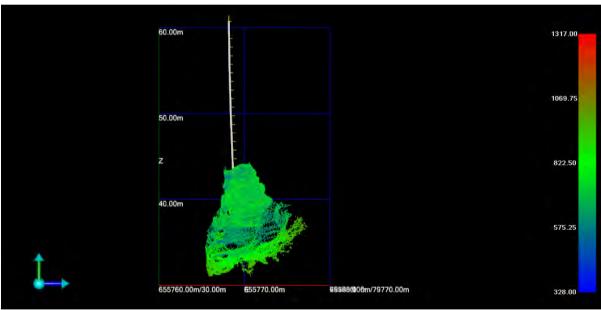


Exemple de dimensionnement de vide d'origine karstique







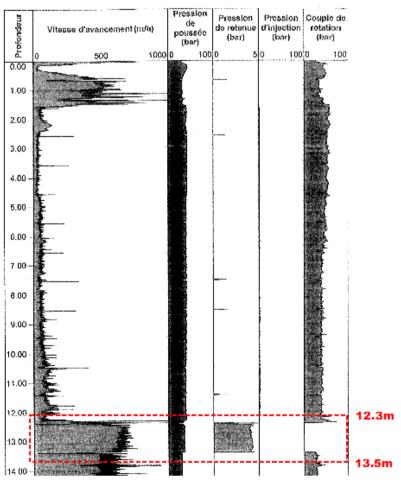




Problème de la représentativité des sondages

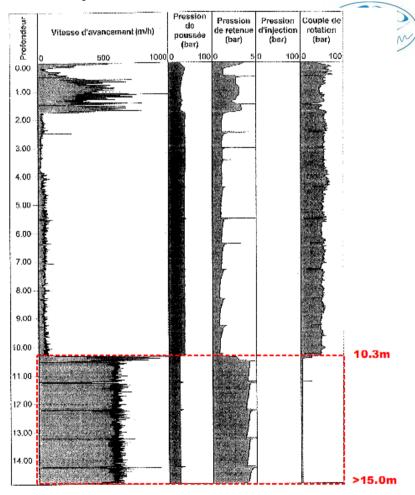


Exemple n°1



hauteur cavité franche: 1.2m profondeur toit cavité: 12.3m

Exemple n°2



hauteur cavité franche: >4.7m profondeur toit cavité: 10.3m



Exemple n°1

-2.0m -4.0m -6.0m -8.0m -10.0m

Volume cavité : 315 m³

Exemple n°2



Volume cavité : 29 m^3

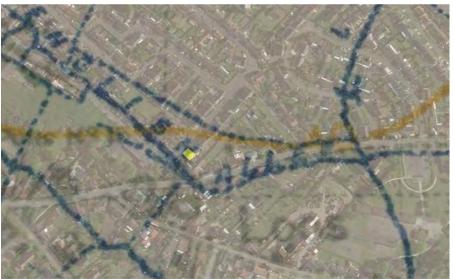


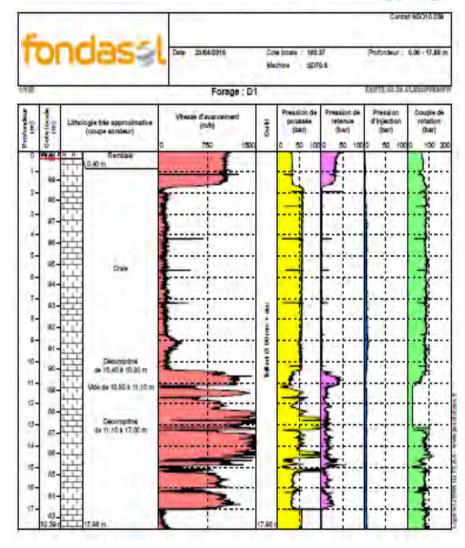
Exemple n°3: Loos-en Gohelle (62)







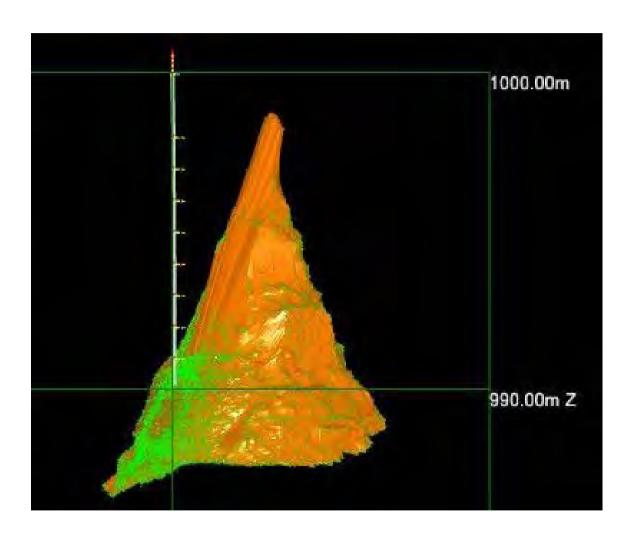






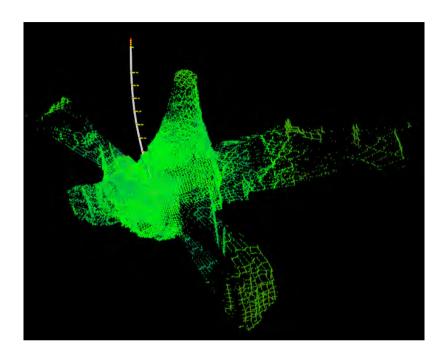
Exemple 3: Loos-en Gohelle (62)

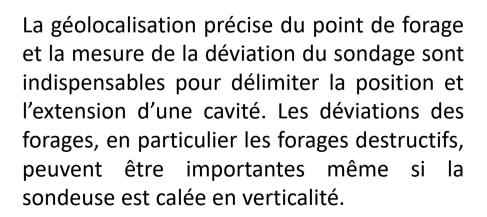




Le vide a été recoupé à 10.8m de profondeur en forage mais le dimensionnement a permis de constater que le fontis remontait à moins d'1 mètre sous la maison

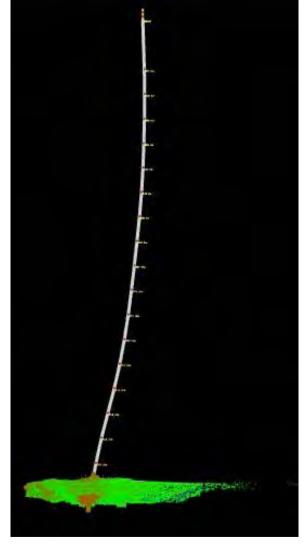








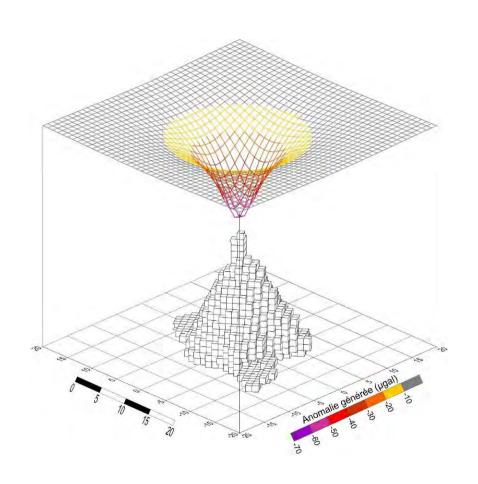








La modélisation gravimétrique de cavités



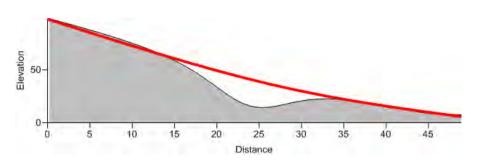
- l'anomalie gravimétrique régionale
- La modélisation 3D de cavités
- L'intérêt du modèle 3D



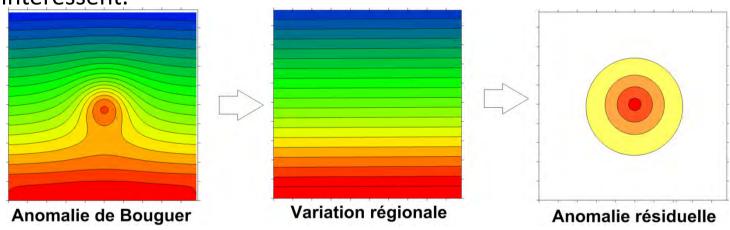
Anomalie résiduelle et variation régionale







Une des principales difficultés en microgravimétrie est de dissocier les événements régionaux profonds des événements superficiels qui nous intéressent.

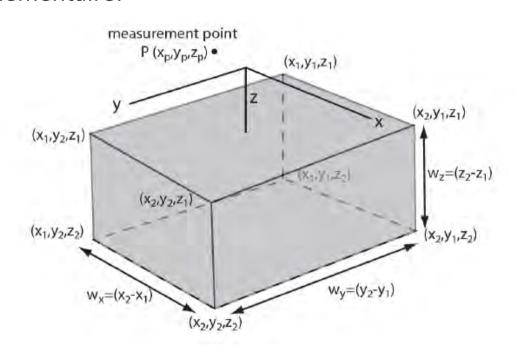


L'élaboration de la « carte de variation régionale » est un point crucial du traitement. C'est un filtrage (avec tout ce que cela comporte) dont il faut définir les paramètres. Et ces paramètres dépendront des caractéristiques de notre cible et de sa « signature » gravimétrique.

La modélisation 3D



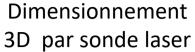
Il faut dans un premier temps, arriver à définir la signature gravimétrique de notre cible. Pour cela l'élément de base sera l'anomalie générée par un cube élémentaire:

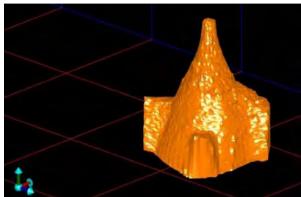


(D Nagy - 1966)

$$\Delta g = G \Delta \rho \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} \sum_{1}^{2} \mu_{ijk} \left[\Delta Z_k \arctan \left(\frac{\Delta x_i \Delta y_j}{\Delta z_k R_{ijk}} \right) - \Delta x log(R_{ijk} + \Delta y_j) - \Delta y_j log(R_{ijk} + \Delta x_u) \right]$$



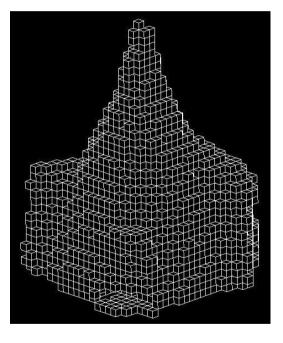




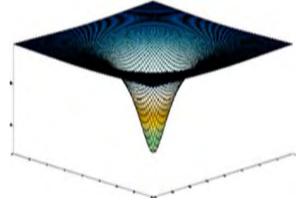
Exemple: Volume 194m3
Profondeur base: 13m



12 400 cubes élémentaires de 0.25m de coté



Anomalie gravimétrique résultante

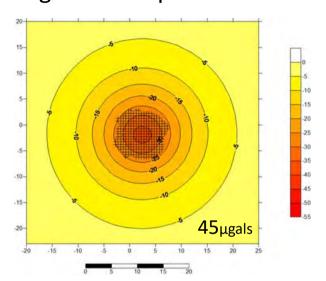


Contraste de densité: 1.8 Maximum d'intensité:-40 µgals

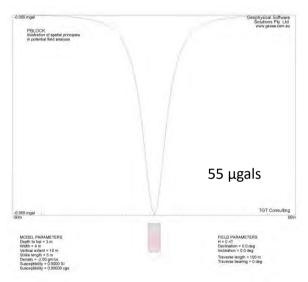


L'intérêt du modèle 3D

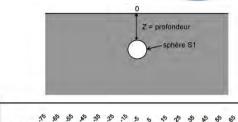
Le modèle 3D est la meilleure approche pour évaluer la signature gravimétrique d'une cavité.

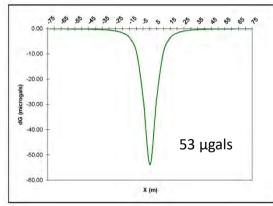


Exemple: volume de 192m³
Forme de catiche
Maximum d'intensité:
-45 µgals



Volume de 192m³
Cube équivalent de
4.3 x 4.5 x 10m
Maximum d'intensité:
-55 µgals





Volume de 192m3 Sphère équivalente de 3.58m de rayon Maximum d'intensité: -53 µgals

Il doit permettre:

- De définir la maille de prospection en fonction de la cible recherchée.
- De valider le choix de la carte de variation régionale une fois les sondages réalisés.



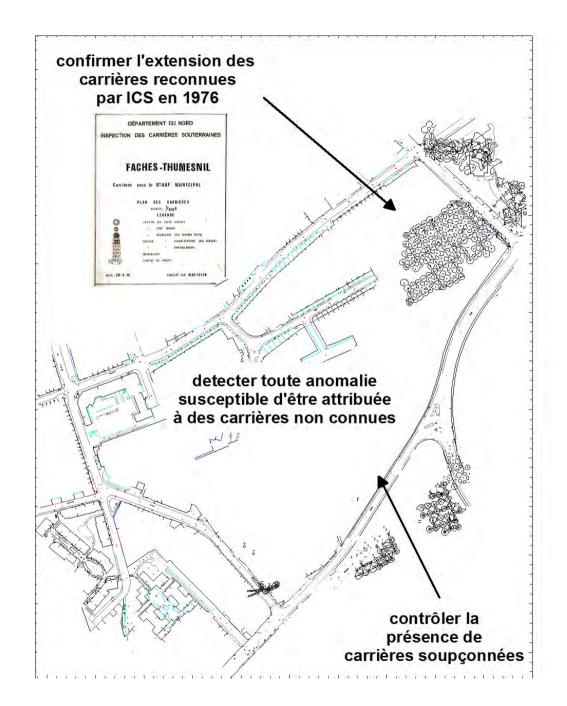


Retour d'Expérience: catiches lilloises (59)











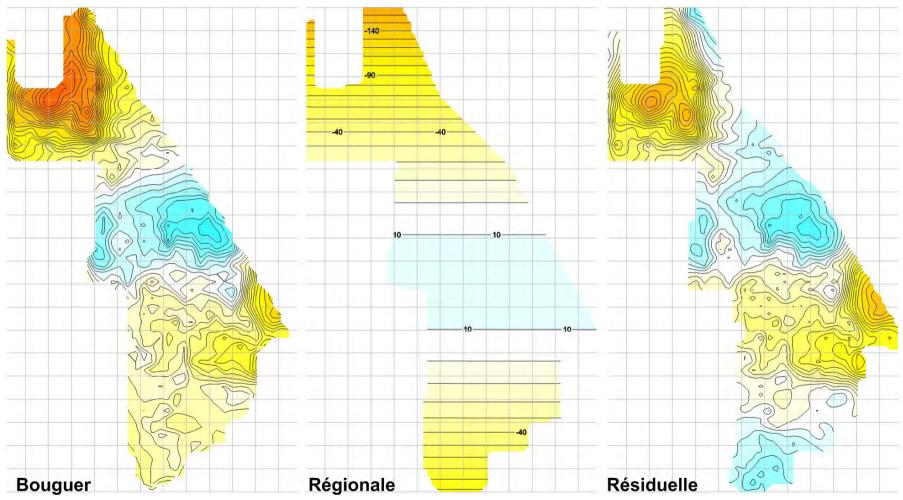
- Contexte de craie sub-affleurante (recouvrement compris entre 0.5 et 3m);
- Nappe phréatique entre 13 et 15m de profondeur;
- Contexte urbain mais pas de grands bâtiments à proximité.

Programme de reconnaissance :

- 764 stations microgravimétriques avec maille carrée de 7x7m;
- Plus de 100 sondages destructifs avec enregistrements de paramètres;
- des mesures de densité sur échantillons de craie;
- •Des relevés laser 2D;
- Des relevés laser 3D.









Anomalie gravimétrique générée par un ensemble de catiches

CFMS

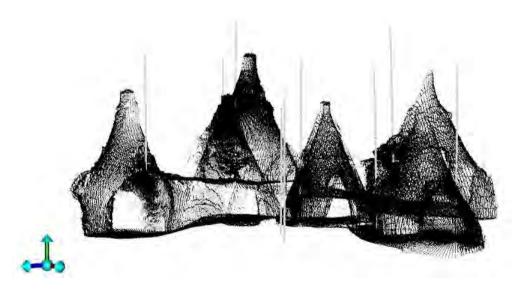
CFMS

CFMS

CFMS

La modélisation permet de calculer l'anomalie résiduelle d'un ensemble de catiches:

 Aide à la décision pour l'établissement de l'anomalie Régionale (signature type cavité)

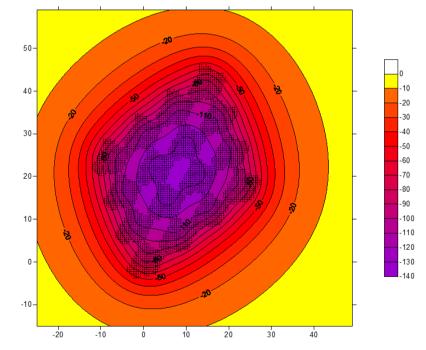


Volume des vides : 3100 m³ (16 catiches de

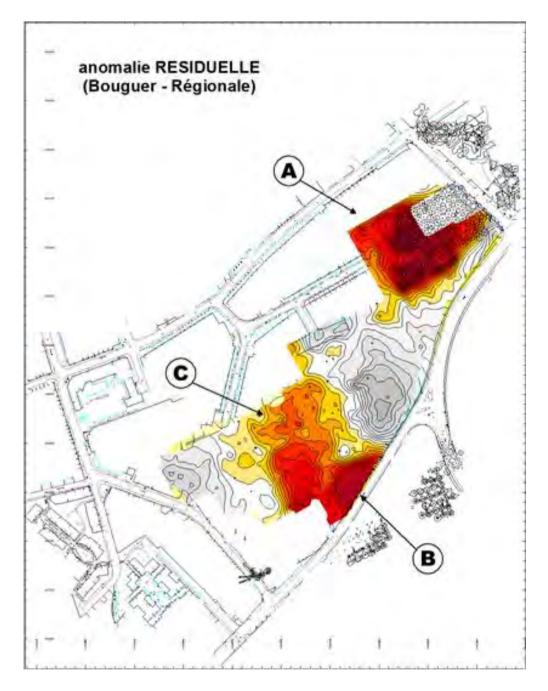
volume moyen de l'ordre de 195 m³)

Profondeur du toit : 2m Contraste de densité : 1.8

Maximum d'intensité :-140 μgals









La carte d'anomalie résiduelle permet de mettre en évidence des zones de déficit de masse.

On délimite 3 zones d'anomalies :

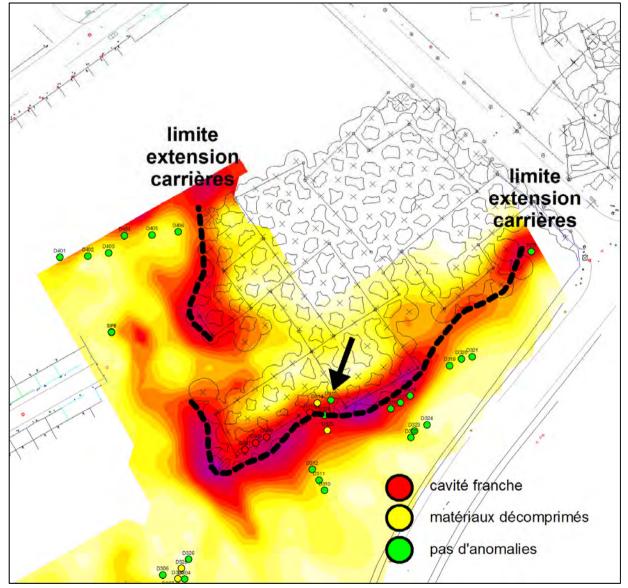
•zone A : correspond à l'emprise des carrières reconnues;

•zone B : correspond à la présence des carrières soupçonnées;

•zone C : ne correspond à aucune carrière connue.



Carte de Gradient sur zone (A):





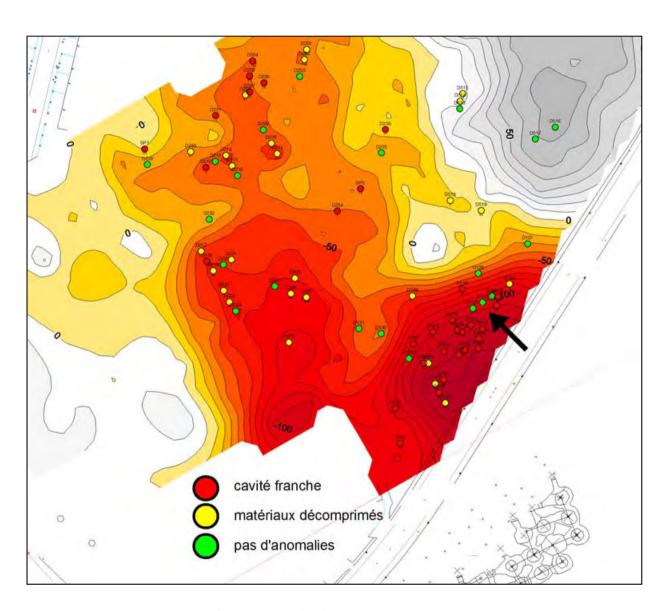
Le rapport taille / profondeur de la cavité permet de travailler sur la notion de gradient

La carte de gradient permet de délimiter l'extension des carrières et de confirmer le plan du relevé de 1976



Carte d'anomalie résiduelle sur zone (B) et (C) :





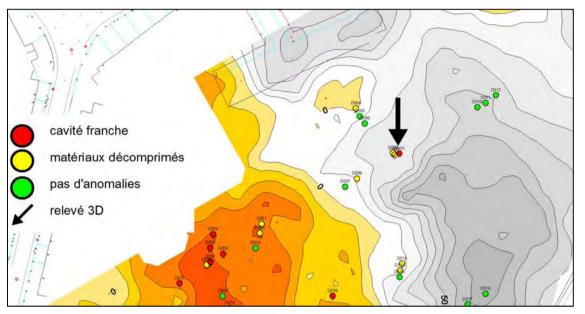
La carte de gradient permet de délimiter l'extension des carrières constituant la zone (B), extension confirmée par sondages et par les dimensionnements laser 3D.

Pas de limites franches pour les anomalies gravimétriques la zone (C), malgré la présence de vides francs en sondages.

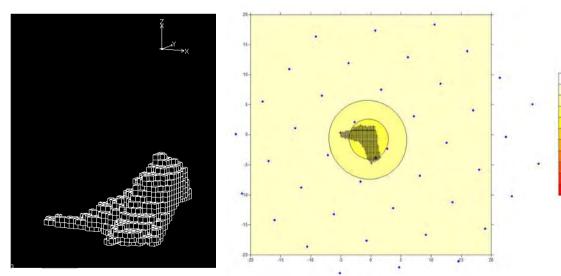


Cas du sondage SD503 : cavité reconnue en forage dans un secteur sans anomalie microgravimétrique









Volume :14 m3 Profondeur : 4.5m

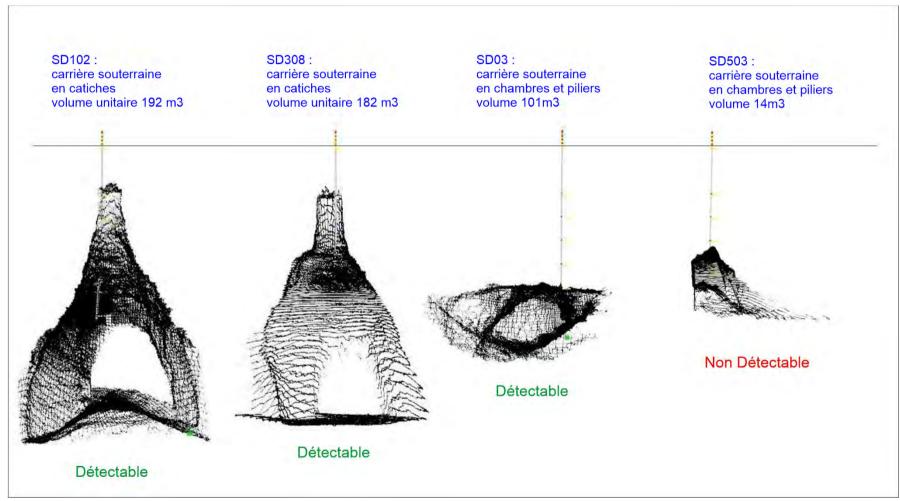
Contraste de densité: 1.8

Maximum d'intensité: 6μgals

Donc sous le seuil de détectabilité











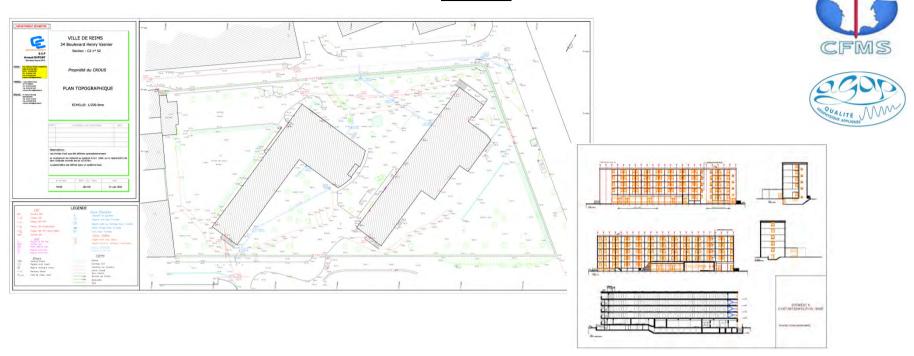


Retour d'expérience: Crayères champenoises (51)





Le site



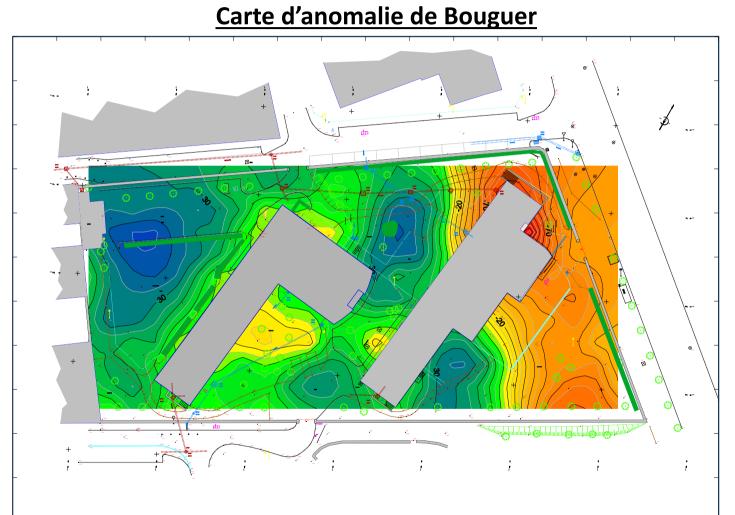
Le projet se situe en zone urbaine (centre ville historique). Il existe sur le site 2 bâtiments de 5 étages avec caves et quelques habitations en rez-de-chaussée sont mitoyennes.

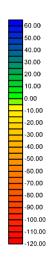
Sur ce site, une campagne géophysique par méthode microgravimétrique a été réalisée selon une maille de reconnaissance de 5x5m.

Chronologiquement, cette campagne a été réalisée au préalable à la mission géotechnique. Les seuls éléments techniques fournis étaient le plan topographique de l'existant.

CF

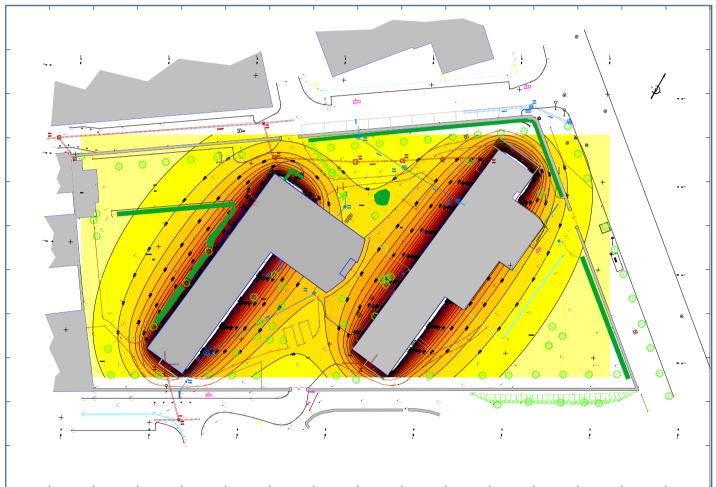






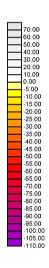


Anomalie générée par les structures (bâtiments et caves)



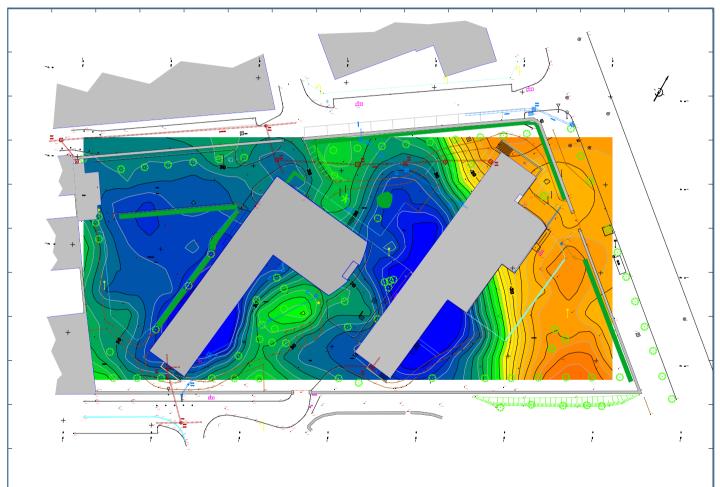






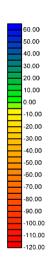


Carte d'anomalie de Bouguer après correction



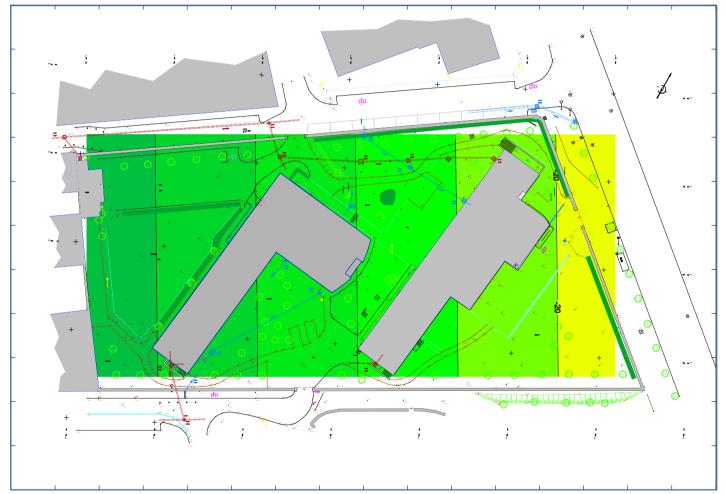






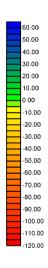


Carte de variation régionale – version alpha



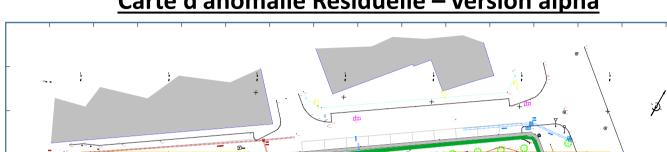






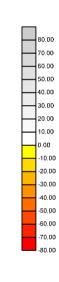


Carte d'anomalie Résiduelle – version alpha



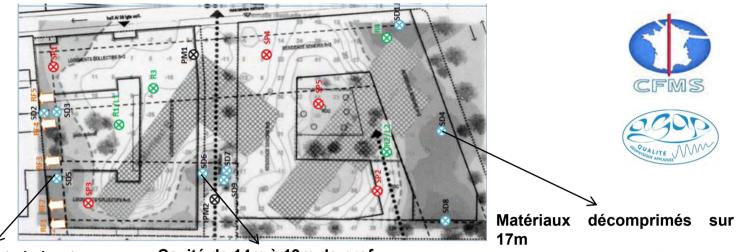






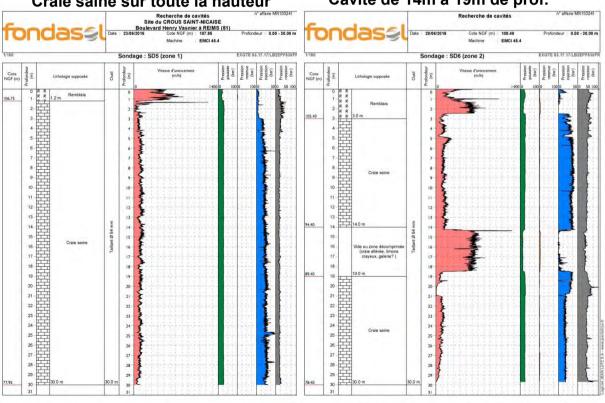


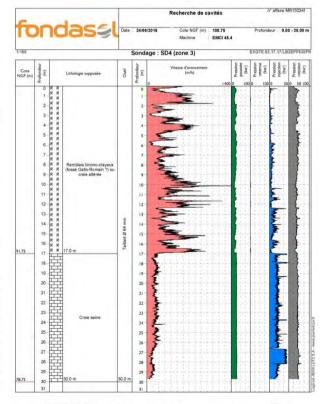




Craie saine sur toute la hauteur

Cavité de 14m à 19m de prof.







S'il n'y a pas de concertation entre prestataire géophysicien et prescripteur géotechnicien





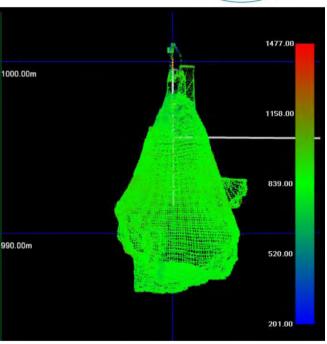
Si le diagnostic géotechnique s'arrête là, la campagne microgravimétrique ne permet pas permis d'identifier une crayère de 238 m3 (crayère 9-13).

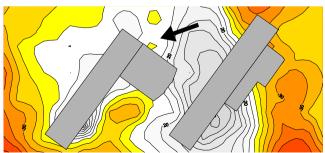








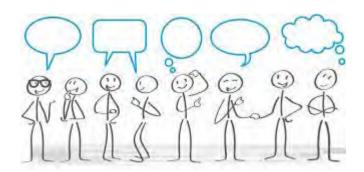




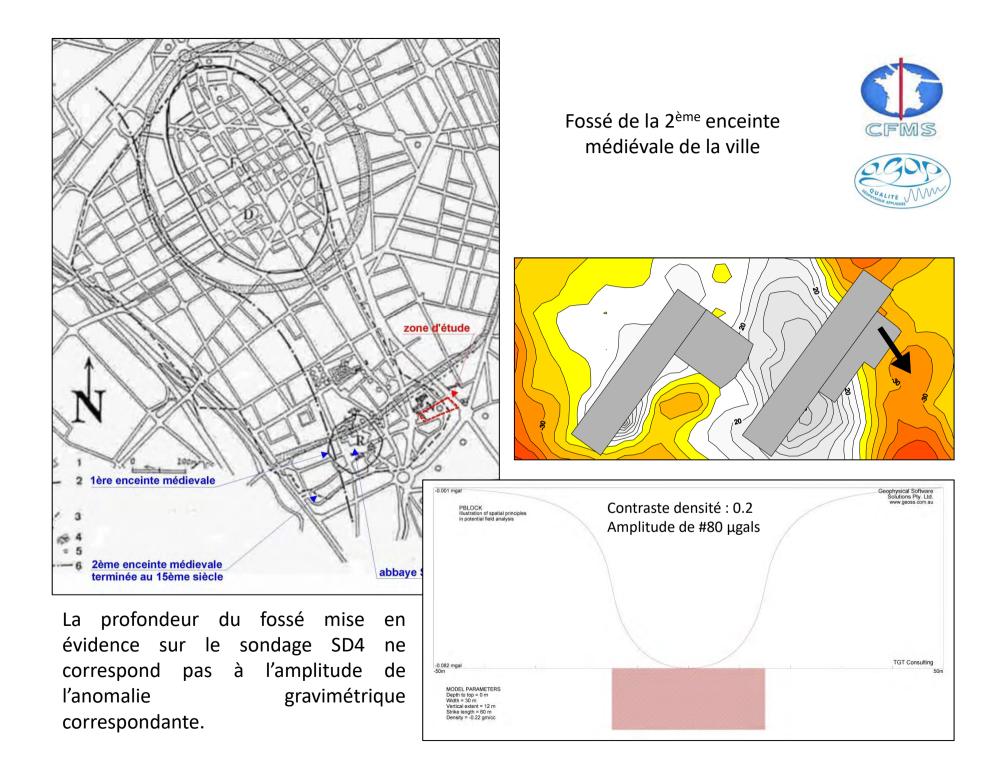




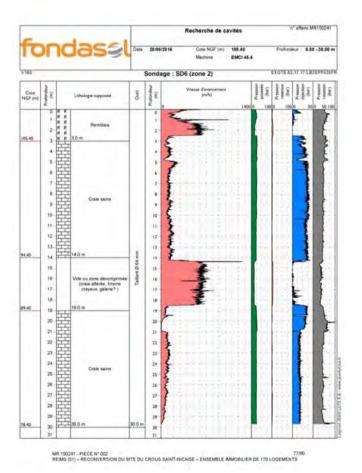
S'il y a concertation entre prestataire géophysicien et prescripteur géotechnicien

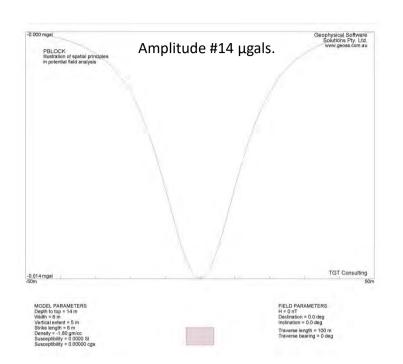




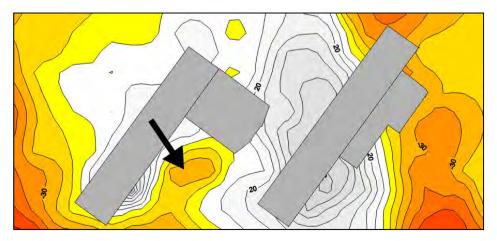


La cavité mise en évidence sur le sondage SD6 ne peut justifier l'anomalie pas gravimétrique correspondante.





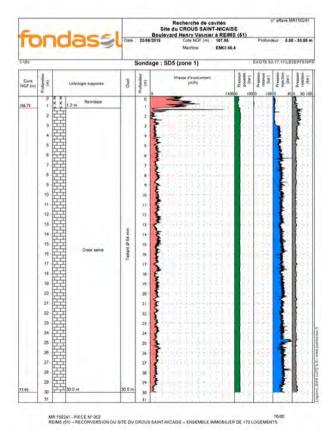


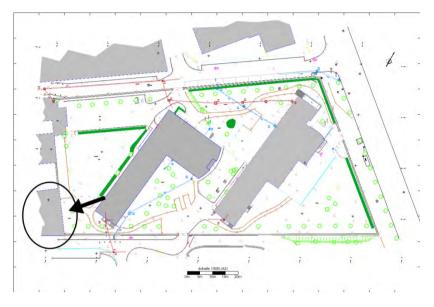




Aucune cavité ou décomprimé matériau n'est relevé sur le sondage SD3.

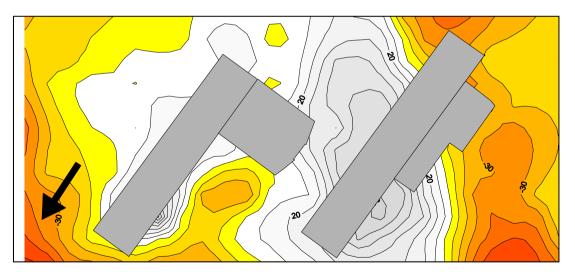
Présence d'un bâtiment avec cave supposée.











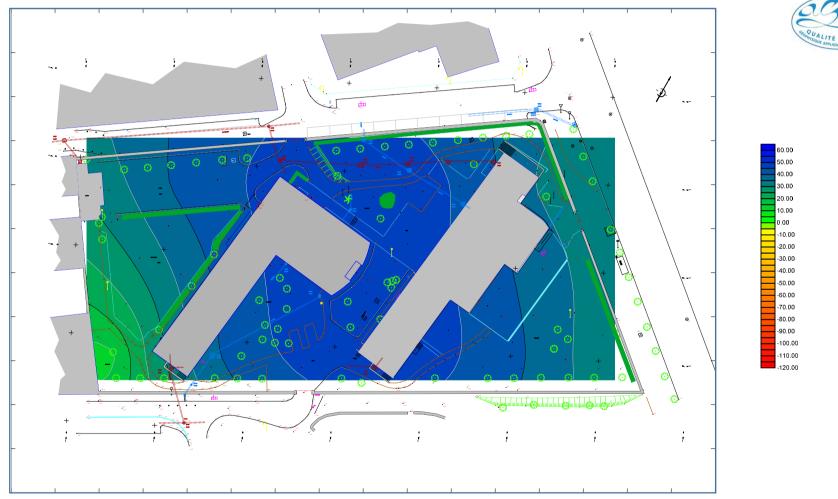




Carte d'anomalie régionale – version bêta





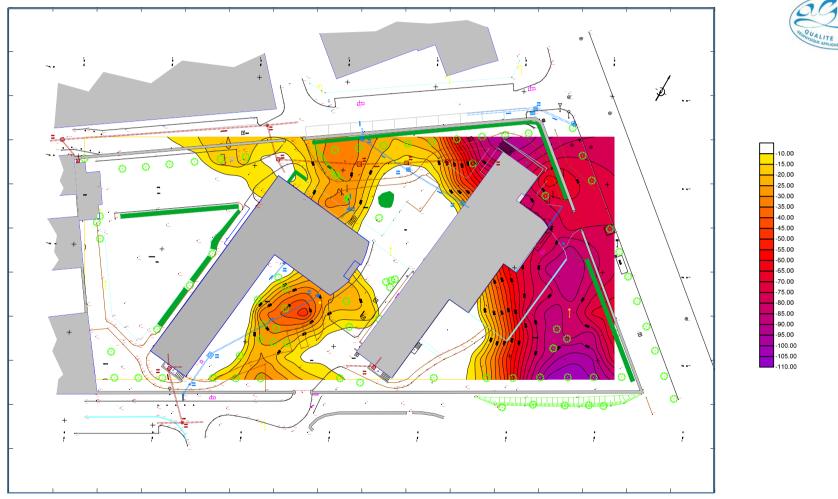


Nouvelle carte de variation régionale établie sur la base des éléments fournis par la mission géotechnique

Carte d'anomalie Résiduelle – version bêta





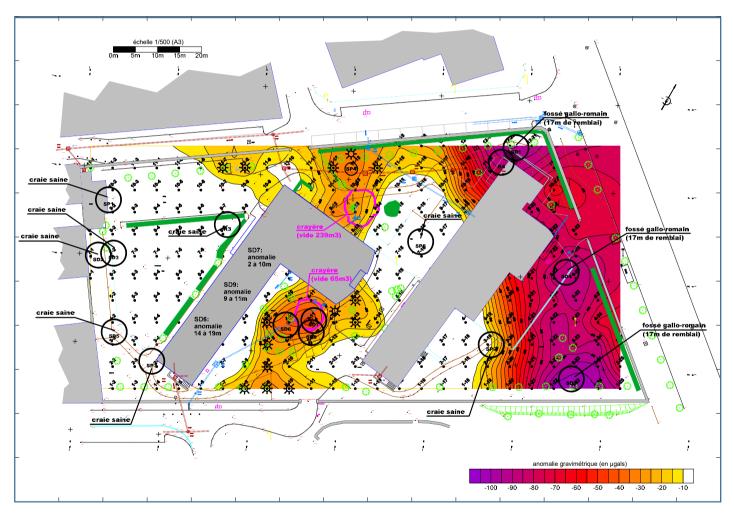


Nouvelle carte de variation régionale établie sur la base des éléments fournis par la mission géotechnique







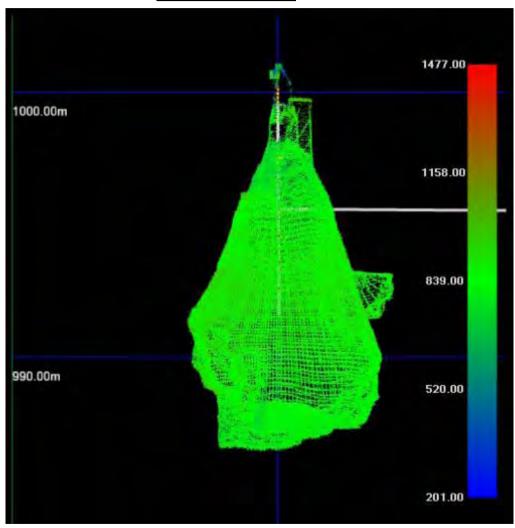


La carte de synthèse est établie à partir des données microgravimétriques, des coupes sondages, des enregistrements de paramètres et des relevés laser 3D.

Crayère 4-11



Crayère 9-13



1477.00 1158.00 839.00 520.00 201.00

Crayère entièrement vide et fermée

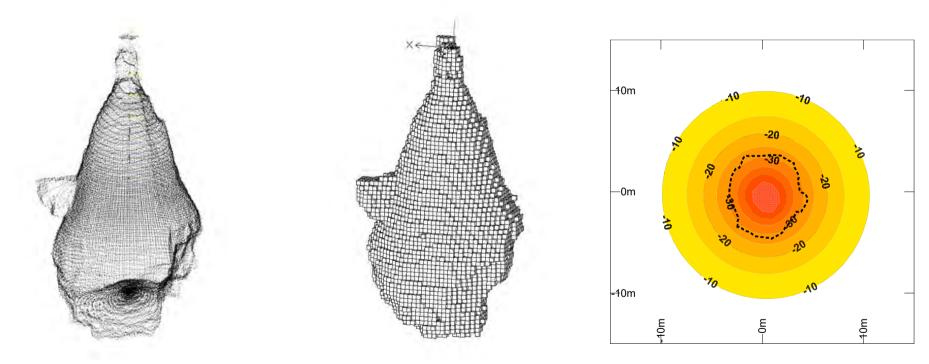
Crayère en partie comblée fondasel

Anomalie gravimétrique de la crayère 9-13



La crayère 9-13 se présente sous la forme d'un entonnoir renversé vers le bas avec une niche sur l'une de ses parois. Son diamètre en base est de 7,0m, son volume total est de 238 m3.



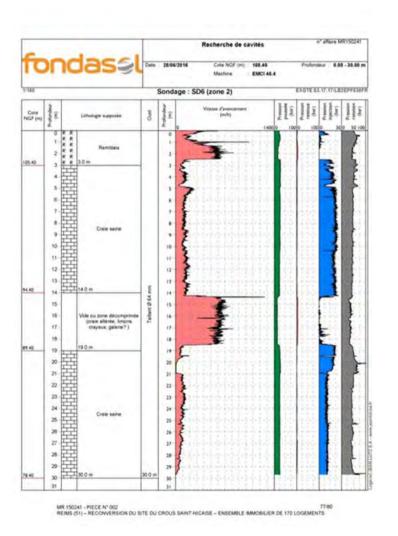


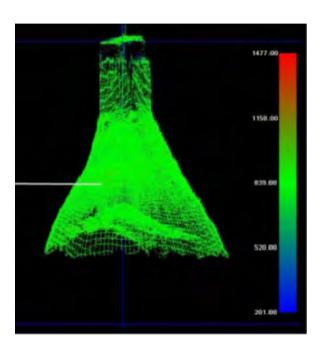
L'amplitude maximale de l'anomalie générée par ce volume est de l'ordre de 50 µgals à l'axe de la cavité.

Anomalie gravimétrique de la crayère 4-11









La base de la crayère 4-11 est comblée, mais le sondage réalisé dans son environnement met en évidence une cavité franche entre 14 et 19m (base des crayères)?





Merci de votre attention



