

Auscultation d'un bac de stockage de Gaz Naturel Liquéfié en excavation, par GPS

■ Habib TAIBI - Salem KAHLouCHE - Ali ZEGGAI - Boualem GHEZALI - Aomar AYOUAZ - Abdellah BELHADJ

MOTS-CLÉS

Auscultation, prévention, Gaz Naturel Liquéfié, GNL, GL4/Z, Bac, GPS, Déplacements

Le bac en sol gelé du terminal méthanier du complexe SONATRACH GL4/Z d'Arzew, d'une capacité d'environ 38 000 m³, a été construit en 1964. Il représentait pour le complexe

plus de 50 % de ses capacités en stockage. La prévention des risques industriels représentés dans notre cas par ce bac de stockage en excavation de GNL (Gaz Naturel Liquéfié) a nécessité l'utilisation des données de positionnement issues des satellites GPS (Global Positioning System).

Les tests effectués ont porté sur l'auscultation géométrique du réservoir à partir d'observations périodiques. L'opération a été étalée sur quatre campagnes d'observations GPS, espacées de dix-huit à vingt quatre mois (Février 2000, Juillet 2002, Juillet 2004, Février 2006). Le réseau d'auscultation, déterminé à quelques millimètres, est constitué de 15 points d'appuis éloignés d'une centaine de mètres du bac, de 72 points servant de repères pour le profil en long et le levé du terrain avoisinant le bac et de 42 points cibles répartis sur l'ossature du bac. La méthodologie développée dans ce contexte est basée sur l'exploitation de mesures de la phase des signaux GPS en modes statique, statique rapide et cinématique. La comparaison des résultats obtenus lors des traitements des deux campagnes d'observations GPS (2000-2004) a permis de mettre en évidence des déplacements de l'ordre de 90 mm en planimétrie et de 163 mm en altimétrie. Les profils restitués montrent que le terrain a subi un gonflement plus important côté terre que côté mer et que tous les points du réseau d'auscultation sont soumis à un phénomène de déplacement horizontal dans la direction Nord-Est. A l'occasion du 40^e anniversaire du complexe GL4/Z d'Arzew et à la suite des résultats de l'auscultation et des problèmes structurels, le Ministre de l'Energie et des mines en l'occurrence Monsieur Chakib Khelil, a décidé l'arrêt de l'exploitation de ce dernier bac de stockage souterrain de GNL. Les résultats de la troisième campagne d'auscultation réalisée en février 2006 ont confirmé les importantes déformations du BAC et de son voisinage immédiat. Suite à cette intervention, le dernier bac en excavation existant au monde a été mis hors service en juillet 2007.

L'auscultation géométrique du bac souterrain de GNL du complexe GL4/Z d'Arzew par techniques classiques de positionnement, triangulation et trilatération, a permis de constater des déformations importantes (déplacements de l'ordre de 30 mm en planimétrie et de 20 mm en altimétrie de juillet 1996 à avril 1997) du bac et de son voisinage immédiat qui demeurent en phase d'évolution continue.

A ces techniques traditionnelles de positionnement se sont substituées de nouvelles techniques plus évoluées et plus précises, basées sur l'utilisation de satellites artificiels. En effet, les impératifs de précision de positionnement pour un ouvrage de ce type (étendue, configuration géométrique, contraintes d'intervisibilité...) et l'existence d'outils performants, comme le GPS, rendent nécessaire la mise en œuvre de ces nouvelles techniques et leur application aux travaux de détection des déformations.

Les mesures périodiques basées sur l'établissement d'un canevas géodésique spécifique (auscultation d'ouvrages d'art et de sites industriels, surveillance sismique, etc.) permettent de quantifier les déplacements au cours du temps.

Dans le cadre de ce travail, la méthodologie développée est basée sur l'exploitation de mesures de la phase des signaux GPS en modes statique pour le réseau d'appui et statique rapide pour les points cibles. La précision obtenue sur les coordonnées des points du canevas est de l'ordre millimétrique.

La comparaison des résultats obtenus lors des quatre campagnes d'observations GPS, espacées de vingt-quatre mois, a permis de mettre en évidence des déplacements maximaux de l'ordre de 110 mm en planimétrie et de 252 mm en altimétrie.

Présentation du bac

Le réservoir en sol gelé du terminal méthanier du complexe SONATRACH GL4/Z d'Arzew a été construit en 1964 et a une capacité d'environ 38 000 m³. Il représentait pour le complexe plus de 50 % de ses capacités en stockage. Le réservoir a un diamètre de 37,20 mètres et une profondeur de 36 mètres ; il se situe à 100 mètres du bord de la mer.

La caractéristique principale de ce type de stockage est l'absence d'isolation et de barrière d'étanchéité sur les parois verticales et le fond. Seul le gel de l'eau contenue dans le sol assure son imperméabilité. Ce type de stockage ne peut être réchauffé sans se détruire. Les problèmes rencontrés dans l'exploitation de ce genre de stockage sont de différents types :

- Problèmes naturels (déformations du bac et de son voisinage immédiat).



Bac de stockage.

- Problèmes structurels (désordres au niveau de la structure de support du toit du bac).

Les origines de ces problèmes sont essentiellement liées à la nature du sol, à la proximité de la mer et à la progression du front de gel.

Méthodologie d'auscultation du bac

Ce type de réservoir est bien adapté à l'auscultation par GPS où toute la précision standard de cette technique ($EMQ = 5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$) peut être exploitée.

La méthodologie d'auscultation pour ce type de bac se résume comme suit :

- Implantation du réseau de base : choix des points à proximité de l'ouvrage sur des sites stables et matérialisation par des bornes en béton. L'altitude des stations de base a été choisie presque identique à celle du bac pour minimiser l'influence de la troposphère.
- Configuration optimale des cibles :
 - Nombre et distribution homogène des points cibles : selon la forme et le type d'ouvrage par un maillage approprié (mécanique des structures).
 - Matérialisation durable des points.
- Suivi de l'évolution ou de la stabilité de l'ouvrage :
 - Opération 0 : observation en mode statique ou statique rapide et détermination des coordonnées des points cibles. Les positions de ces points par rapport au réseau de base constituent la configuration de référence.
 - Opération i : détermination des positions des points cibles à partir d'une nouvelle campagne d'observations GPS pour quantifier les déplacements de l'ouvrage par rapport à la configuration de référence. La nouvelle configuration ainsi déterminée (opération i) servira de configuration de référence pour la prochaine opération d'auscultation (i+1). Les fréquences d'intervention varient selon l'amplitude des déformations, la vitesse de déplacement du bac et suite à des événements (séismes, glissement de terrain...).
- Interprétations des résultats :
 - Interprétations géodésiques : suivant les tendances des déformations et des déplacements.
 - Interprétations structurales : intégrer d'autres données (perméabilité, pression de consolidation du sol, isothermes, inspection interne du bac par endoscopie, etc.).

Campagne d'observations GPS

Le matériel dont dispose le CTS et qui a été utilisé lors des tests effectués pour l'auscultation géométrique du réservoir souterrain de GNL, se compose de trois récepteurs GPS bifréquences Ashtech Z-12 à 12 canaux indépendants et du logiciel de traitement des données GPS "WINPRISM".

Les tests effectués ont porté sur l'auscultation superficielle du bac souterrain. L'opération a été étalée sur quatre campagnes d'observations GPS, espacées de vingt-quatre mois.

Le réseau d'auscultation, observé en modes statique et statique rapide, est constitué de 15 points d'appuis éloignés d'une centaine de mètres du bac, 72 points servant de repère pour le profil en long et le levé du terrain avoisinant le bac et de 42 points cibles répartis sur l'ossature du bac (figure 1).

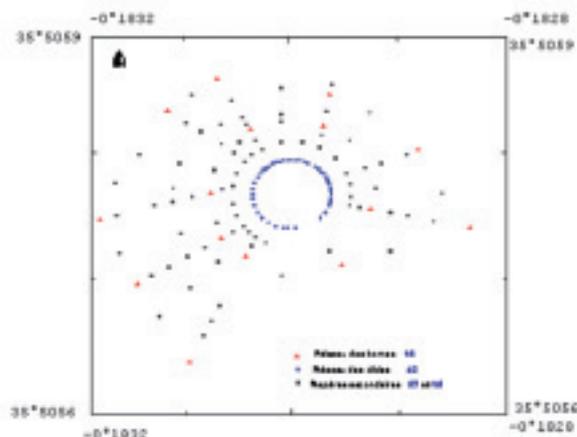


Figure 1. Réseau d'auscultation du bac de GNL en sol gelé (GL4/Z - Arzew).

Une campagne d'observations GPS est composée de plusieurs sessions d'observations dont chacune comprend au minimum 03 stations.

Le taux d'échantillonnage des observations est de 20 secondes et la durée de chaque session d'observation est comprise entre 15 et 45 minutes.

Les tests effectués ont montré la convergence de la solution, au niveau millimétrique, en fonction de la durée d'observation et de la longueur des lignes de base respectives.

Traitement des données GPS

Les paramètres (type d'éphémérides des satellites, configuration géométrique de la constellation, modèles atmosphériques, etc.) utilisés lors du traitement des trois campagnes d'observations GPS (opérations 0, 1 et 2) sont identiques.

Les principales étapes de traitement des données GPS sont :

- Prétraitement : traitement ligne de base par ligne de base et session par session.
- Compensation de l'ensemble des lignes de base de chaque campagne GPS (chaque opération d'auscultation).
- Détermination des coordonnées définitives des points des différents réseaux dans le système WGS84.
- Transformation des coordonnées GPS en coordonnées UTM fuseau 30 et en coordonnées LAMBERT VLU 1960 dans le système Nord Sahara.

La précision obtenue sur les coordonnées des points du réseau d'auscultation est millimétrique.

Résultats et analyse

La comparaison des résultats obtenus lors des quatre campagnes d'observations GPS a permis de mettre en évidence des déplacements de l'ordre de 110 mm en planimétrie et de 252 mm en altimétrie.

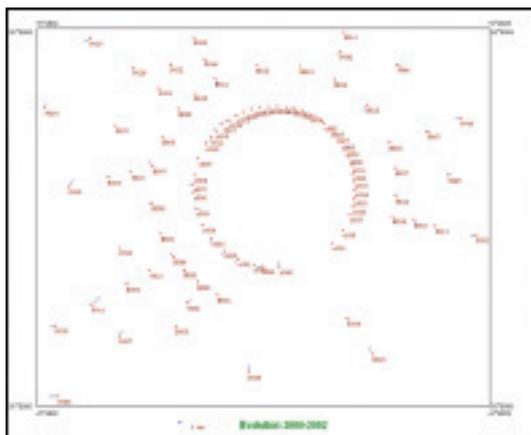


Figure 2. Déplacements planimétriques des points du réseau entre les époques Février 2000 et Juillet 2002.

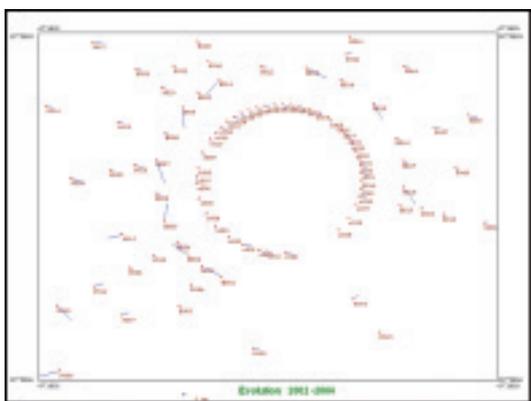


Figure 3. Déplacements planimétriques des points du réseau entre les époques Juillet 2002 et Juillet 2004.

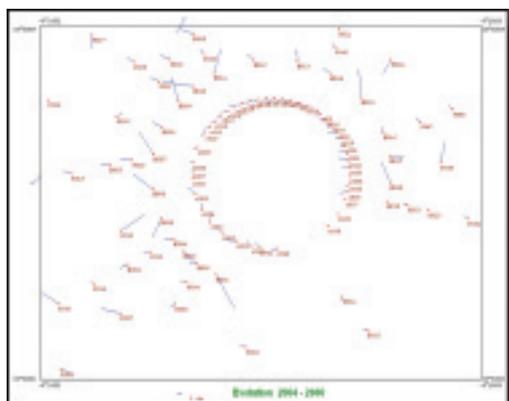


Figure 4. Déplacements planimétriques des points du réseau entre les époques Juillet 2004 et Février 2006

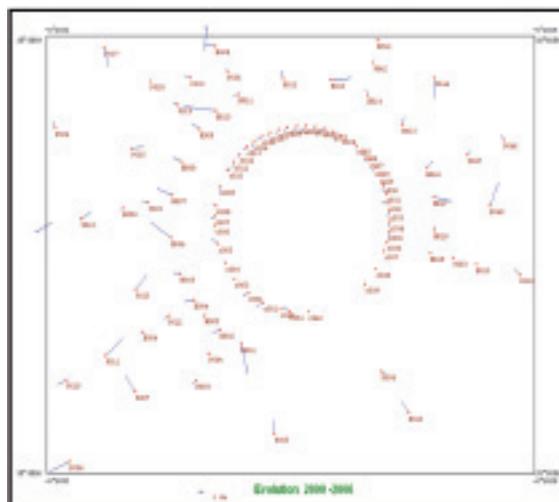


Figure 5. Déplacements planimétriques des points du réseau entre les époques Février 2000 et Février 2006.

Les figures 2, 3, 4 et 5 montrent que la majorité des points du réseau d'auscultation du bac en sol gelé sont soumis à un phénomène de déplacement horizontal dans la direction Nord-Est. La valeur maximale du déplacement est de l'ordre de 110 mm. Le traitement des données GPS multi-époques a permis la détermination des altitudes de tous les points et la restitution des déplacements verticaux au cours du temps. Pour avoir une vue d'ensemble de la déformation verticale, on a tracé sous forme de courbes de niveaux en figures 7, 8, 9, et 10 les déplacements verticaux interpolés sur la zone d'étude. La valeur maximale du déplacement vertical est de l'ordre de 252 mm.

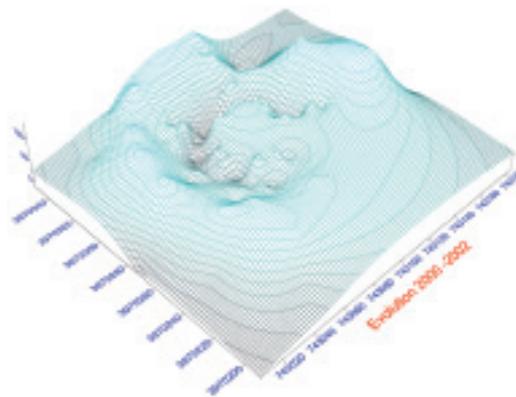


Figure 6 : Déplacements altimétriques des points du réseau entre les époques Février 2000 et Juillet 2002.

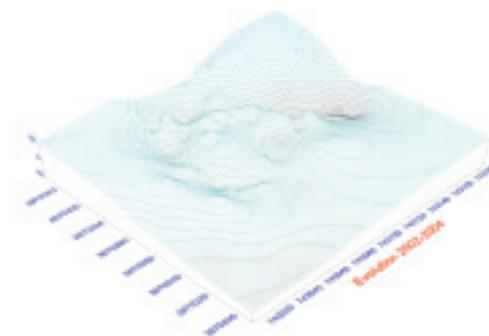


Figure 7 : Déplacements altimétriques des points du réseau entre les époques Juillet 2002 et Juillet 2004.

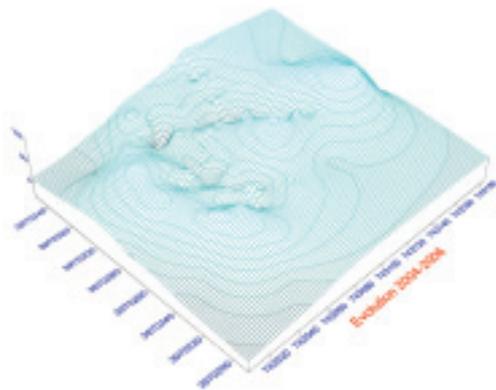


Figure 8 : Déplacements altimétriques des points du réseau entre les époques Juillet 2004 et Février 2006.

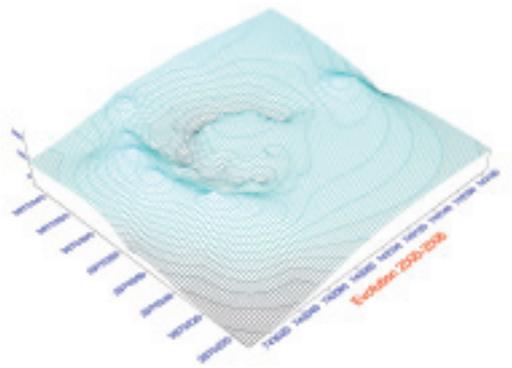


Figure 9 : Déplacements altimétriques des points du réseau entre les époques Février 2000 et Février 2006.

Déplacement altimétrique maximal
252 mm (2000-2006)



Déplacement planimétrique maximal
110 mm (2000-2006)

Figure 10 : Déplacements planimétriques et altimétriques maximums du bac et de son voisinage entre les époques 2000 et 2004.

- ▶ Les profils altimétriques restitués montrent que le terrain a subi un gonflement plus important côté terre (Sud) que côté mer (Nord).

Conclusion

Dans le cas du bac de stockage souterrain de GNL, toute la précision standard de la technique GPS (EMQ = 5mm \pm 1 ppm) peut être exploitée. Le réseau d'auscultation par GPS est plus homogène et plus précis que celui obtenu par techniques classiques. La rapidité des observations et du traitement par GPS réduit considérablement le coût des missions d'auscultation. La figure 8 illustre les différents déplacements maximums du bac et de son voisinage.

Pour compléter les résultats géodésiques et aboutir à une interprétation rigoureuse et objective des déformations mises en évidence, il est impératif d'intégrer d'autres données relatives aux informations structurales (pression de consolidation du sol, perméabilité, isothermes, inspection interne du bac par le moyen endoscopique, etc.).

A l'occasion du 40^e anniversaire du complexe GL4/Z d'Arzew, le ministre de l'Énergie et des Mines, Monsieur Chakib Khelil, a décidé l'arrêt de l'exploitation de ce dernier bac de stockage souterrain de GNL. ●

Contacts

Habib TAIBI - Salem KAHLOUCHE - Ali ZEGGAI - Boualem GHEZALI - Aomar AYOUAZ

Centre des Techniques Spatiales - Arzew
h_taibi@caramail.com

Abdellah BELHADJ

Complexe GL4/Z - Sonatrach Aval - Arzew

Bibliographie

Benamar TOUATI *Expérience de près de 25 ans d'exploitation d'un stockage de GNL en sol gelé*. 1992, revue des hydrocarbures, Sonatrach, pp13

E. GROTEN, R. STRAIB *GPS-Techniques Applied to Geodesy and Surveying*, 1988.

Klaus Linkwitz, Viktor Eisele, Hans-Joachim Mönicke *Applications of Geodesy to Engineering*, Symposium N° 108, May 1991.

Rapport Technique (opérations 00, 01 et 02) DEPT / CNTS *Auscultation topographique du bac de stockage de GNL en sol gelé GL4/Z*, 1998, CNTS, pp 52.

H.TAIBI *Auscultation du bac de stockage : résultats (2000-2004)*, 40^e anniversaire de GL4Z, Septembre 2004, Arzew, pp12.

ABSTRACT

Key words: Auscultation, prevention, GNL, GL4Z, réservoir, GPS, displacement.

The prevention of industrial risks represented in our case by the storage tank (built in 1964) of GNL (Liquefied Natural Gas) in frozen ground of SONATRACH GL4 / Z complex required the use of GPS (Global Positioning System) satellites positioning data. The tests are performed for the geometric auscultation of the tank from periodic observations. The geodetic measurement campaigns consisted on four operations, spaced on twenty-four (24) months for the months of (February 2000, July 2002, July 2004 and February 2006). The methodology developed in this study is based on the use of a phase measurement of GPS signals in static and fast static modes. However, the comparison of the processing results provided by the four GPS campaigns observations, allowed us to highlight a displacements of about 110 mm in planimetry and 252 mm in altimetry. The profiles obtained show that the land has undergone a more important inflation side land than side sea, and all the stations of the network have an horizontal motion in the North-East direction. Following these results, the last tanks in excavation existing in the world were put out of service in July 2007.