

Contrôle dimensionnel de bacs de stockage au sein du groupe pétrolier TOTAL E&P

PFE présenté par : Jean-Baptiste GELDOF
Société d'accueil : TOTAL E&P - département DEV/TEC/GEO
Directeur de PFE : M. Arnaud VIDAL
Correcteurs : M. Jacques LEDIG et M. Guillaume KIEHL



1. Présentation

TOTAL Exploration & Production possède 4 principaux terminaux pétroliers répartis à travers le monde. Il s'agit du terminal du Cap-Lopez au Gabon, de Djeno au Congo, de Rio Cullen en Argentine et de Balikpapan en Indonésie. Ceux-ci stockent quotidiennement les hydrocarbures extraits en mer afin de les charger périodiquement sur des bateaux pétroliers.

Les bacs de stockage sont construits sur une dalle de béton circulaire appelée longrine, visible sur la figure 1.1. La robe du bac est simplement posée sur la longrine. Elle est constituée de plusieurs viroles en acier soudées entre elles.

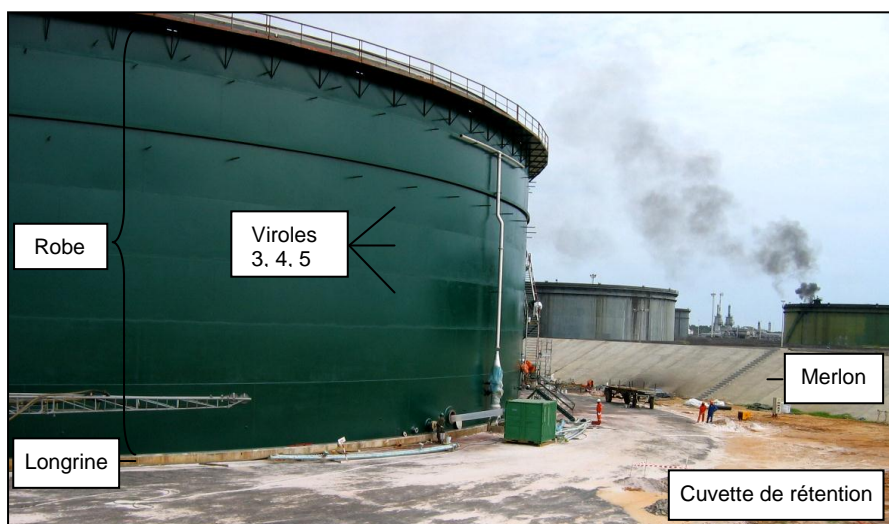


Figure 1.1 : Photographie du bac RB8, terminal de Djeno au Congo

La majorité des bacs concernés ont été construits dans les années 1970, ils font 80m de diamètre pour une hauteur de 20m. Le liquide contenu est protégé par un toit flottant coulissant à l'intérieur de la robe.

Les tassements des fondations, la corrosion de l'acier ainsi que les conditions de charge/décharge des bacs entraînent des déformations pouvant provoquer un coincement du toit dans la robe, puis la ruine de la structure dans le liquide. Certains bacs subissent d'importantes altérations au niveau de la première virole, engendrant des fuites d'hydrocarbures puis la ruine totale de la robe.

Enfin, de nombreuses normes comme les API et les CODRES régissent la construction puis la maintenance des bacs. Des critères de déformations maximales y sont renseignés, elles constitueront donc une référence à laquelle tous les travaux topographiques devront se conformer.

2. Objectifs

Les objectifs de l'étude sont les suivants:

- Recenser les normes en vigueur, les différents acteurs ainsi que les besoins de l'E&P.
- Etudier l'apport du scanner laser et/ou de la photogrammétrie. L'étude sera menée en termes de précision, de pertinence des résultats fournis, de coûts et de faisabilités de mise en œuvre.
- Etablir une méthode de suivi métrologique pérenne et adaptée aux ouvrages, régie par des documents de référence internes.

3. Etude technique

Tassements en pied de bac

Suite à un effondrement du toit dans la robe du bac RB8 du terminal de Djeno au Congo, plusieurs campagnes de mesures ont été entreprises. Les résultats de ces mesures ont été utilisés pour comprendre le comportement structurel de l'ouvrage.

L'étude d'une corrélation entre les tassements de la longrine, la tôle annulaire et la première virole entre le bac plein et le bac vide a été réalisée. Des courbes de tassements ont été créées et les coefficients de corrélation de la figure 3.1 ont été analysés.

On constate que la première virole n'a pas le même comportement structurel que les autres parties du pied de bac. Un schéma explicatif est présenté figure 3.2. On montre que lors du chargement, la tôle annulaire se plaque sur la longrine, tandis que la première virole se déforme, en se tassant légèrement moins que les autres parties du pied de bac. Les différences maximales atteignent 4mm.

Longrine-tôle annulaire = 0.8
Tôle annulaire-virole = -0.2
Virole-Longrine = 0.1

Figure 3.1 : Coefficients de corrélations

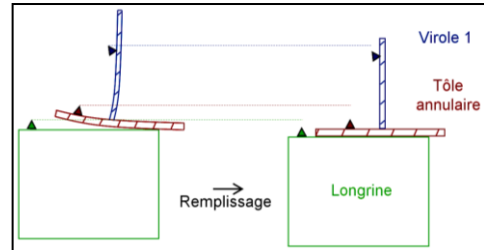


Figure 3.2 : déformations en pied de bac

Une autre étude réalisée par les spécialistes génie-civilistes du groupe a consisté à modéliser entièrement la robe du bac par éléments finis afin d'étudier les effets des tassements sur les déformations de la robe. La modélisation informatique montre que des tassements de quelques millimètres peuvent entraîner des déformations de plusieurs centimètres sur le rayon de la robe.

Rotondité et déformations locales de la robe

Des mesures tachéométriques ont été prises sur la robe depuis l'extérieur du bac, le long de profils verticaux. La comparaison de deux séries de mesures prises avec des distances entre profils différentes (3 et 10m) a été effectuée. Ces mesures ont été réalisées avant et après l'incident survenu sur le bac RB8, à intervalle de deux ans, dans des conditions de température atmosphérique et de remplissage du bac similaires.

A partir des résultats obtenus, le rayon moyen du bac peut être déterminé, tout comme le rayon du cercle inscrit à l'intérieur de la robe, correspondant au rayon maximal du toit flottant du bac. On montre que la série la moins dense, prise avant l'incident, surestime le rayon maximal du toit flottant de 44mm, soit 68% de l'espace annulaire entre le toit et la robe.

Dès lors seulement 8mm différencient le rayon maximal du toit flottant mesuré après l'incident, du rayon théorique du toit. Le rayon théorique étant encore différent du rayon tel que construit, l'analyse aurait permis de détecter la déformation trop importante et d'arrêter l'exploitation du bac. Cette étude montre que les mesures de rotundité et de déformations locales doivent être les plus denses possibles.

Précisions de mesures

La lecture des normes et guides sur les bacs de stockage, l'analyse basée sur les rapports de mesure précédents et les nombreux retours d'expérience des spécialistes rencontrés ont permis de fixer les précisions exigées pour chaque type de contrôle. D'une manière générale, une précision de 0.3mm à 1σ sera imposée pour les mesures de tassements et une précision 3mm à 1σ sera demandée pour les mesures tridimensionnelles sur la robe.

Comparaison de la photogrammétrie, la lasergrammétrie et la tachéométrie

Un tableau comparatif mettant en avant les différents points forts et points faibles de chacune des trois techniques a été réalisé. Il en ressort que la photogrammétrie n'est pas adaptée à ce type de contrôle dans la mesure où l'emploi de cibles permanentes serait indispensable, et que la précision obtenue ne serait pas suffisante.

La lasergrammétrie se distingue par la très grande densité de points obtenus. Cette densité est particulièrement recherchée lors de l'analyse des déformations. D'autant plus qu'avec les récentes évolutions des scanners 3D, la précision de 3mm recommandée est tout à fait atteignable. Néanmoins, la plupart des entreprises locales ne maîtrisent pas cette technologie, ce qui obligerait TOTAL E&P à faire appel à des sociétés occidentales pour réaliser ce type de chantiers. Ceci allant à l'encontre de la politique de *local content* soutenue par TOTAL.

4. Tests de mesures

Objectifs

Des tests de mesures ont été effectués sur le site de production de Lacq (64). L'entreprise TRIMBLE s'est associée à ces tests en fournissant le matériel de mesure, les données brutes recueillies et les logiciels de traitements appropriés.

L'objectif principal étant de tester la précision des mesures obtenues par lasergrammétrie et tachéométrie, valider certains protocoles d'acquisition au détriment d'autres méthodes jugées inappropriées. Ces tests ont également été l'occasion d'utiliser les différentes fonctions proposées par TRIMBLE RealWorks, logiciel de post-traitement des nuages de points, dans le but de démontrer la pertinence de l'analyse de déformations basée sur des données issues de la lasergrammétrie.

Protocole de mesure

La consolidation a été effectuée à l'aide de cibles sphériques réparties sur le bac. Un géoréférencement indirect à partir de cibles plates scannées depuis une station TRIMBLE FX, puis relevées au tachéomètre TRIMBLE VX a été entrepris. Un total de 8 stations a été nécessaire. Les mesures ont été prises avec un pas angulaire de 27 lignes par degré, ce qui permet d'avoir une densité d'environ 2 points par cm^2 sur la robe, avec 50% de recouvrement.

Enfin, la mesure d'un profil particulier a été réalisée par tachéométrie depuis deux directions, radiale et tangente afin de pouvoir comparer les différentes mesures tachéométriques avec les résultats obtenus par scanner laser 3D.

Traitements effectués

La consolidation a été calculée simultanément avec le géoréférencement par un calcul en bloc. Les résidus sur les coordonnées des cibles et des stations sont tous strictement inférieurs à 2mm.

Une segmentation basée sur l'intensité retour du rayon capté par le scanner a permis d'isoler la robe de la tôle annulaire et de la cuvette de rétention. Enfin, un ré-échantillonnage selon l'intensité de retour a été effectué afin de supprimer les points dont l'intensité de retour est inférieure à un certain seuil. Le recouvrement des nuages scannés a permis d'éliminer 30% des points initiaux en gardant une densité supérieure à 1 point par cm^2 sur l'ensemble du bac.

Analyse dimensionnelle

Les tassements différentiels ont pu être analysés en calculant les écarts de la tôle annulaire par rapport à son plan moyen. En calculant l'inclinaison du cylindre moyen, l'inclinaison générale du bac a été mise en évidence. Les écarts de la robe par rapport à ce cylindre moyen fournissent l'analyse de la rotondité et des déformations locales de la robe. Ces déformations sont illustrées par la figure 4.1.

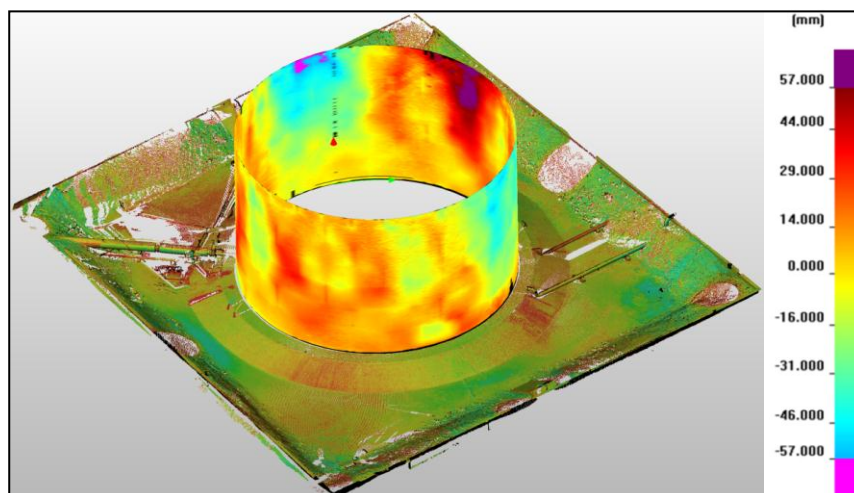


Figure 4.1 : Déformations de la robe, recalées dans le nuage de points mesuré

Comparaison des méthodes

Une cohérence est constatée entre les mesures lasergrammétriques et tachéométriques en visée radiale à 2mm près, alors que les visées tangentielles sous-estiment les déformations vers l'intérieur du bac. Les sous-estimations maximales atteignent 10mm d'erreur avec les visées tangentielles.

Dès lors, les méthodes de mesure lasergrammétrique et tachéométrique en visée radiale sont validées en terme de précision. Les méthodes d'analyse de déformations menées sur les nuages de point scannés sont approuvées par les spécialistes de la compagnie.

5. Méthodes et suivi dimensionnel

Méthodes topographiques

La mise en place d'un réseau de base pérenne avec 4 bornes géodésiques situées aux 4 coins de la cuvette de rétention d'un bac a été imposée. Ce réseau interne stable servira de référence pour tous les travaux topographiques effectués sur le bac, et permettra d'assurer le suivi des déformations.

Concernant les mesures sur la robe, les recommandations suivantes ont été arrêtées :

- Imposition du scanner laser terrestre pour le contrôle des bacs neufs,
- Mesures par tachéométrie radiale pour l'inspection,
- Précision de mesure fixée à $\pm 3\text{mm}$ à 1σ .

Les mesures de tassements devront respecter les consignes suivantes :

- Nivellement direct de haute précision,
- Précision de mesure fixée à $\pm 0.3\text{mm}$ à 1σ .

Suivi des déformations

Afin de mettre en place une démarche de suivi pérenne et adaptée aux ouvrages, des logigrammes basés sur les recommandations des normes ont été créés. Un extrait est présenté figure 5.1.

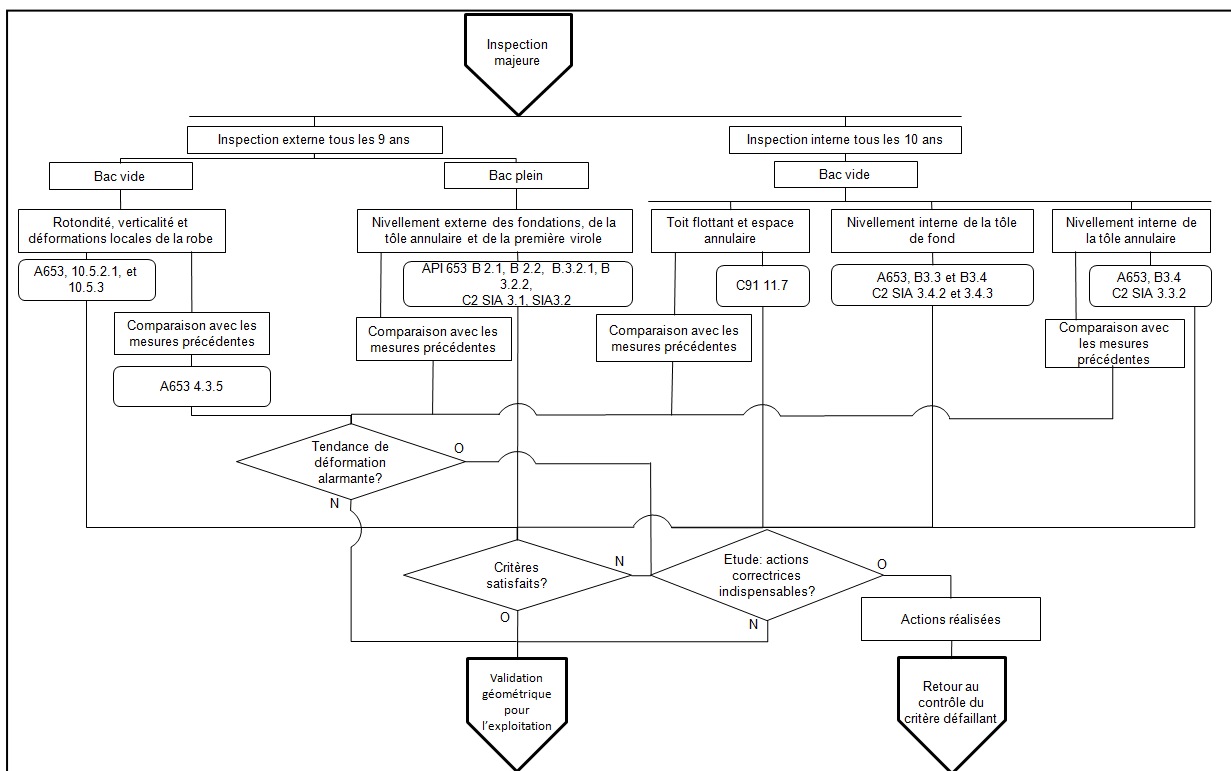


Figure 5.1 : Logigrammes précisant les contrôles à effectuer et les articles des normes correspondant

Le suivi des tassements sera assuré en comparant les courbes de nivellement entre elles. Les mesures tachéométriques sur la robe pourront être comparées à l'état zéro de référence, mesuré par lasergrammétrie avec des logiciels de type CloudCompare.

6. Conclusion

L'étude technique, basée sur les retours d'expérience, les missions à Lacq et au Gabon et les rapports des inspections passées a permis de comprendre efficacement le comportement structurel des bacs de stockage, et de préconiser des méthodes de suivi des déformations adaptées à l'ouvrage.

Un document de référence interne a été écrit. Il permet de capitaliser toutes les connaissances acquises lors de l'étude, tout en uniformisant les méthodes de mesures dans le but d'assurer un suivi des déformations.

Enfin, il est important de rappeler que ce projet a été conduit en collaboration avec des spécialistes du génie-civil, de la corrosion et de l'inspection, ce qui illustre le fait que la topographie s'inscrit parfaitement dans des domaines plus larges comme celui de l'énergie.