

# **Contrôle par émission acoustique d'équipement sous pression sous talus- Exemple d'application concernant une unité de stockage de gaz de 16 000 m<sup>3</sup>, composée de 4 sphères de 4 000 m<sup>3</sup> chacune**

*Acoustic Emission Testing of Buried Pressure Vessels*

*Implementation on a 16000 m3 gas storage unit*

J. CATTY

(Cetim – 52, avenue Félix Louat – 60300 Senlis – e-mail : [johann.catty@cetim.fr](mailto:johann.catty@cetim.fr))

## **RESUME**

Le contrôle par émission acoustique des appareils à pression est appliqué depuis des décennies en France, en Europe et dans le monde. Il permet en effet un contrôle global et rapide de grandes structures, minimisant fortement les temps d'intervention et d'immobilisation des installations.

Dans un souci de diminuer l'impact de la présence de grands réservoirs de stockage de gaz sur l'environnement (facteur de risque en cas d'incident), les projets de ce type sont soumis à des contraintes nouvelles depuis plusieurs années. Ces stockages de gaz, cylindriques ou sphériques, sont alors soit recouverts par un talus, soit placés dans un sarcophage rempli de sable.

La question du contrôle périodique se pose pleinement, puisque la surface de l'équipement sous pression n'est plus accessible. En tant que mesure compensatoire à ce problème d'accessibilité, l'émission acoustique est alors envisageable.

L'étude présentée dans cet article illustre toutes les étapes de mise en œuvre de l'émission acoustique sur un grand projet industriel de ce type : Il s'agit de 4 sphères de stockage de gaz de 4000 m<sup>3</sup> chacune.

Dès la conception, les équipements sous pression ont pris en compte les contraintes liées à la mise en œuvre de l'émission acoustique. En effet, la solution retenue consistait à utiliser des guides d'onde, permettant la surveillance de la partie rendue inaccessible par le talus. Des essais en laboratoire jusqu'au test final après ensevelissement des sphères, cette technologie a été validée. Le suivi par émission acoustique des épreuves hydrauliques initiales a notamment permis d'obtenir une première signature acoustique de chaque équipement, qui servira de référence pour les essais de requalification futurs.

C'est un des plus grands projets industriels de ce type si l'on considère que près de 400 capteurs d'émission acoustique ont été nécessaires pour le contrôle de ces 4 sphères de stockage.

## **ABSTRACT**

*Acoustic emission testing of pressure vessels has been applied for decades in France, Europe and worldwide. It allows overall and fast monitoring of large structures, greatly minimizing the time of maintenance and shutdown of plants.*

*In order to reduce the impact of the presence of large gas storage tanks on the environment and to minimize the risk level, projects of this type are subject to new constraints for several years. These gas storage vessels, cylindrical or spherical, are then covered by either an embankment slope or placed in a sarcophagus filled with sand. The question of periodic control arises fully, since the surface of the pressure equipment is no longer available for inspection. As a compensatory measure to the problem of accessibility, acoustic emission is then possible and appears of great interest.*

*The experience reported in this article illustrates all stages of acoustic emission implementation on a large industrial project of this type: the building of 4 spherical gas storage vessels of 4,000 m<sup>3</sup> each. From design, pressure equipments have taken into account the constraints related to the integration of acoustic emission. Indeed, the solution was to use waveguides, allowing the monitoring of inaccessible areas due to the presence of the embankment. From laboratory experimentation until final tests after burying, this technology has been validated. The monitoring of hydraulic pressure test by acoustic emission provided a first acoustic signature of each vessel, which will serve as reference for the future.*

*This successful project is one of the largest industrial projects in the world if we consider that nearly 400 acoustic emission sensors were needed to control these 4 pressure storage vessels.*

## **INTRODUCTION**

Dans un souci de diminuer l'impact de la présence de grands réservoirs de stockage de gaz sur l'environnement, les projets de ce type sont soumis à des contraintes nouvelles depuis plusieurs années. Dans le cas présent, les 4 réservoirs sphériques, de 4000 m<sup>3</sup> chacun sont alors placés dans un sarcophage rempli de sable.

La question du contrôle périodique se pose pleinement, puisque la surface de l'équipement sous pression n'est plus accessible, hormis par une opération de détalutage, difficilement envisageable pour des raisons techniques et financières. En tant que mesure compensatoire à ce problème d'accessibilité, l'émission acoustique est la solution principale, puisqu'elle permet d'effectuer un diagnostic de l'intégralité de la paroi résistante de chaque sphère, lors d'épreuves hydrauliques ou pneumatiques, réalisées à chaque échéance de requalification, ou selon les prescriptions du donneur d'ordre.

### **1. DESCRIPTION DES DIFFERENTES PHASES DU PROJET**

Ce projet, d'une durée de 18 mois environ, a nécessité une coopération entre les divers partenaires impliqués dans la réalisation des stockages : Ingénierie, génie civil, chaudronnier, exploitant et autorités de sécurité.

Le CETIM, en tant que responsable de la partie 'émission acoustique', a su concilier les contraintes liées à cette technique avec toutes les autres contraintes inhérentes à un tel projet.

Les différentes étapes sont décrites dans les paragraphes suivants.

#### **1.1 Le projet en quelques mots**

Le projet de construction du centre de distribution de gaz est d'une grande importance pour une région géographique ou une métropole. Il doit en effet permettre d'assurer, en toute sécurité pour de nombreuses décennies, un stockage de grande capacité. Soucieux de répondre aux exigences de sécurité actuelles, le donneur d'ordre a décidé de construire 4 sphères sous sarcophage rempli de sable.

L'émission acoustique, technique de contrôle non destructif basée sur la détection d'ondes élastiques transitoires provoquées par la mise sous contrainte de la structure, nécessite la mise en place de capteurs en relation avec la paroi de la sphère.

Dans ce cas, la surface de chaque sphère étant majoritairement inaccessible (seule la partie sous la jupe est accessible), la solution technique consistant à utiliser des guides d'onde a été retenue. Ces guides d'ondes, tiges métalliques, relient acoustiquement la paroi de la sphère au capteur, qui peut alors être déporté hors du talus.

#### **1.2. Essais sur tôle témoin / Rédaction des procédures de contrôle**

Afin de quantifier le nombre de guides d'onde devant être implantés sur chaque sphère, des mesures d'atténuation ont été réalisées sur une portion de tôle identique à celle des sphères (même nuance, même épaisseur), recouverte par le même revêtement anti-corrosion. Ces essais ont nécessité la réalisation d'un sarcophage, permettant de soumettre la tôle au contact du 'talus', constitué de sable.

Ainsi, ces mesures se rapprochent des conditions définitives de la sphère sous talus.

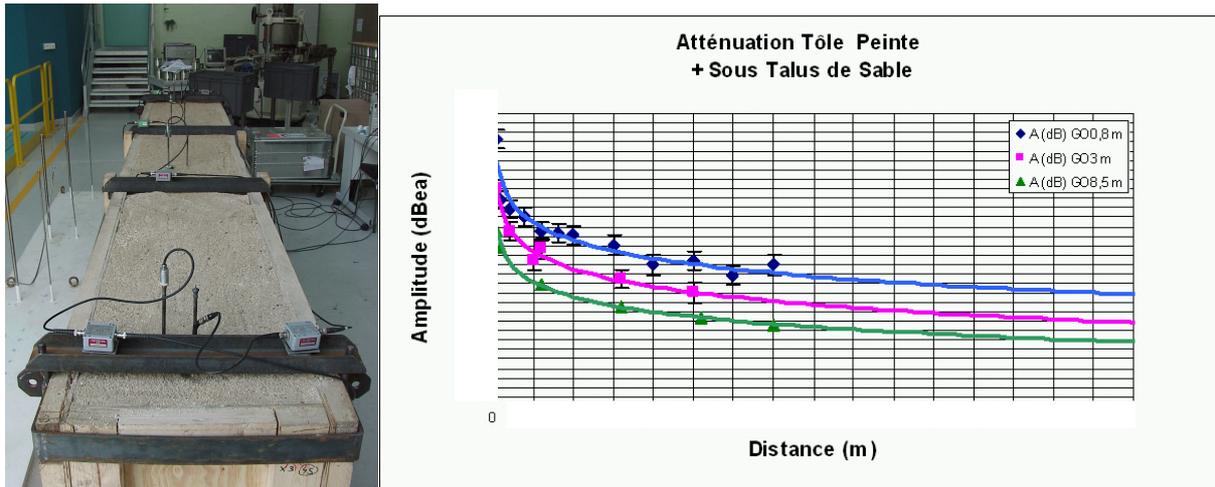


Figure n°1 : Essais sur tôle témoin dans son sarcophage rempli de sable – Résultat de mesures d’atténuation

A partir de ces mesures d’atténuation, et de la longueur des guides d’onde nécessaires aux différentes profondeurs d’ensevelissement, une implantation a été calculée, qui doit permettre une surveillance à 100% de la paroi de chaque sphère.

En définitive, 98 capteurs ont été implantés sur chaque sphère, dont 74 nécessitant la mise en place de guides d’onde. La longueur de ces guides d’onde varie de 1 m à plus de 10 m.

Compte-tenu du fait que les guides d’onde sont soudés à la sphère, de nombreux points techniques ont dû être pris en compte :

- Matériau constituant les guides d’onde – durabilité, soudabilité ;
- Forme des guides d’onde (diamètre, forme des extrémités, rayons de courbure admissibles,...), pouvant impacter sur la propagation des ondes acoustiques ;
- Mode de fixation à la sphère, procédure de soudage ;
- Protection des guides d’onde ;
- Impact sur la protection cathodique ;
- ...

Tous ces points techniques ont été traités, afin de garantir la pérennité de l’ouvrage et de son système de surveillance.

Par exemple, l’impact de la présence de guides d’onde sur la qualité de la protection cathodique a été étudié, dans le cas où un incident de gainage interviendrait. Des calculs de simulation, réalisés avec le logiciel CETIM-PROCOR permettent de conclure que l’impact serait limité dans la zone du défaut considéré, et ne perturberait que très légèrement le courant global de la protection cathodique [1]. Le risque de dégradation de la sphère serait alors très faible.

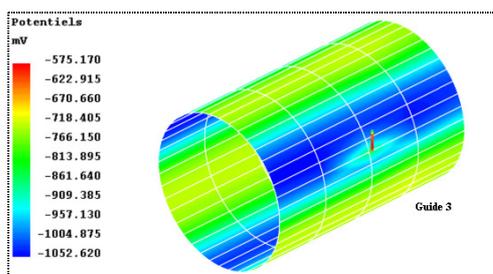


Figure 2 : Exemple de calcul de potentiel de protection cathodique, en présence de Guide d’onde non protégé, sur un équipement sous pression cylindrique (logiciel Procor)

### 1.3. Suivi des épreuves hydrauliques initiales

Les épreuves hydrauliques initiales de chaque sphère ont été suivies par émission acoustique. Pour cette opération, les guides d'onde n'étaient pas dans leur configuration définitive. Uniquement la première partie de chaque guide d'onde a été soudée à la sphère. Chaque soudure d'amorce de guide d'onde a été préalablement contrôlée, afin de s'assurer de la qualité de la liaison mécanique et de l'absence de défaut pouvant dégrader les performances de transmission des ondes acoustiques.

Le suivi par EA de chaque épreuve a été réalisé conformément à une procédure de contrôle rédigée suivant les recommandations du Guide AFIAP/GEA Guide des Bonnes Pratiques pour le contrôle par Emission Acoustique des Equipements Sous Pression (Edition 2004)[2] et le CODAP® 2000 (Code de construction des appareils à pression non soumis à la flamme et Notamment ses annexes Emission acoustique (IA.9 et IA.10)).

Le suivi par émission acoustique de chaque épreuve nécessite la réalisation de nombreuses tâches, à savoir :

- Mise en place des 98 capteurs, câblage,
- Vérification de la sensibilité des capteurs,
- Mesures d'atténuation dans les conditions de l'épreuve,
- Vérification de la localisation,
- Essai de mise sous pression,
- Vérification post-essai de l'instrumentation,
- Analyse des données enregistrées.



Figure 3 : Montage et vérification de la sensibilité des capteurs par un opérateur qualifié – Système VALLEN AMSY-5 104 voies

L'implantation définie par le CETIM, calculée pour une surveillance optimale et complète de la structure en localisation planaire, a permis de mettre en évidence, lors de ces épreuves, de nombreuses zones ou régions émissives (l'activité acoustique étant en général importante lors de cette première sollicitation). Une analyse fine du comportement acoustique de chacune de ces indications, sa corrélation avec la contrainte appliquée, complétée par des investigations complémentaires réalisées après le test permettent d'identifier différentes origines à cette activité :

- Mise en place mécanique de certains éléments,
- Frottements entre différents éléments,
- Phénomène de relaxation de contraintes internes présentes dans certaines soudures,
- Présence de défauts émissifs ;

Tous ces éléments sont archivés, et serviront 'd'image' de référence pour les tests de requalification futurs.

Globalement, les 4 sphères présentent le même comportement, caractérisé par des zones ou régions les plus émissives situées soit au niveau de la jupe de la sphère, soit au niveau de piquages, pieds ou platines situés sur la calotte supérieure, soit au niveau de soudures.

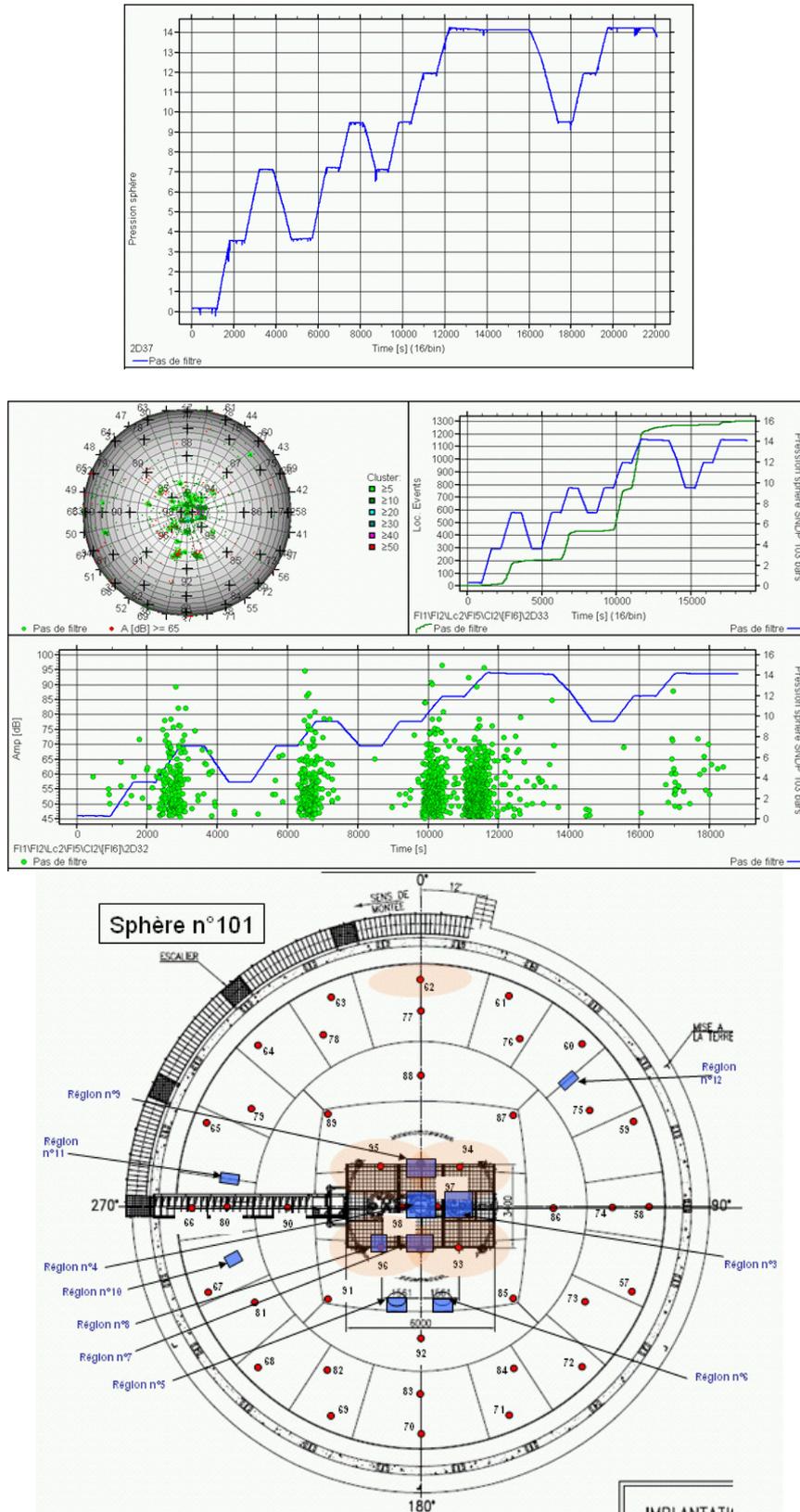


Figure 4 : Résultats d'une épreuve hydraulique initiale suivie par émission acoustique – Exemple de résultats

- Cycle de pression appliqué à la sphère
- Analyse de l'activité acoustique localisée sur la 1/2 sphère supérieure
- Schéma de synthèse de l'activité acoustique sur la 1/2 sphère supérieure

#### 1.4. Vérification de l'opération de prolongation des guides d'onde avant talutage

L'épreuve hydraulique initiale passée avec succès, l'opération suivante consiste à prolonger les guides d'onde, afin qu'ils soient dans leur configuration définitive avant l'ensablement des sphères. Cela nécessite savoir-faire et méthodologie, puisqu'elle implique des opérations de soudage, protection et fixation des guides d'onde.

Afin de valider cette opération, la continuité acoustique entre la paroi de la sphère et l'extrémité du guide d'onde est vérifiée, à l'aide d'un dispositif de mesure portable (système d'acquisition à base de Pda), développé par le CETIM pour cette application, selon une procédure spécifique. Cette vérification est toujours basée sur la détection de sources Hsu-Nielsen, générées sur la paroi de la sphère.



Figure 5 : Mise en place définitive des guides d'onde – Cette opération est réalisée tout au long de la phase d'ensablement de chaque sphère ; Sur la photo, à droite, la paroi de la sphère, à gauche, le mur de l'enceinte béton, sur lequel sont fixés les guides d'onde

Cette opération de contrôle, qui suit la phase d'ensablement de chaque sphère (car les guides d'onde sont soudés au fur et à mesure que le niveau du sable s'élève), nécessite réactivité et disponibilité de la part des techniciens, devant s'adapter au planning du chantier. Elle est cependant fondamentale pour s'assurer que les guides d'onde contrôlés assurent leur fonction de transmission des ondes acoustiques de la paroi de l'équipement jusqu'à leur extrémité.

#### 1.5. Essais de validation dans la configuration finale

L'opération d'ensablement terminée, chaque structure est recouverte d'un parement en plaques de béton.

En périphérie de la structure, les extrémités des guides d'onde restent accessibles pour que les capteurs d'émission acoustique puissent être installés lors des phases de contrôle périodique. Le CETIM a développé des capteurs spéciaux pour ce type d'application, intégrant un dispositif de maintien sur la tête des guides d'onde.

Dans l'objectif de valider le système de contrôle basé sur la mise en place de guides d'onde, une dernière campagne d'essais avait pour objectif de vérifier par l'expérience la capacité du dispositif à détecter une source potentiellement émissive sur la structure dans sa configuration finale.

Pour cela, des sources d'émission acoustique de type Hsu-Nielsen ont été générées à l'intérieur d'une des sphères, dans les parties accessibles, c'est-à-dire la partie basse, jusqu'à un niveau supérieur à la jupe d'environ 3,5 m, et dans la partie sommitale.

L'analyse des données issues d'une telle configuration de contrôle nécessite un post-traitement si l'on veut interpréter correctement les signaux, et si l'on veut localiser l'origine des sources par triangulation ou par zone. En effet, la propagation des ondes acoustiques dans les guides d'onde induit des 'retards' différents selon la longueur du guide d'onde. Dans les premiers à avoir utilisé des structures équipées de guides d'onde, le CETIM a été à l'origine du développement (par VALLEN), en 2003, d'un logiciel spécifique corrigeant les données enregistrées, par post-traitement.



Figure 6:  
Intervention d'un technicien CETIM pour la mise en place de capteurs, et de leur vérification ;  
Vue de l'extrémité accessible de plusieurs guides d'onde ;

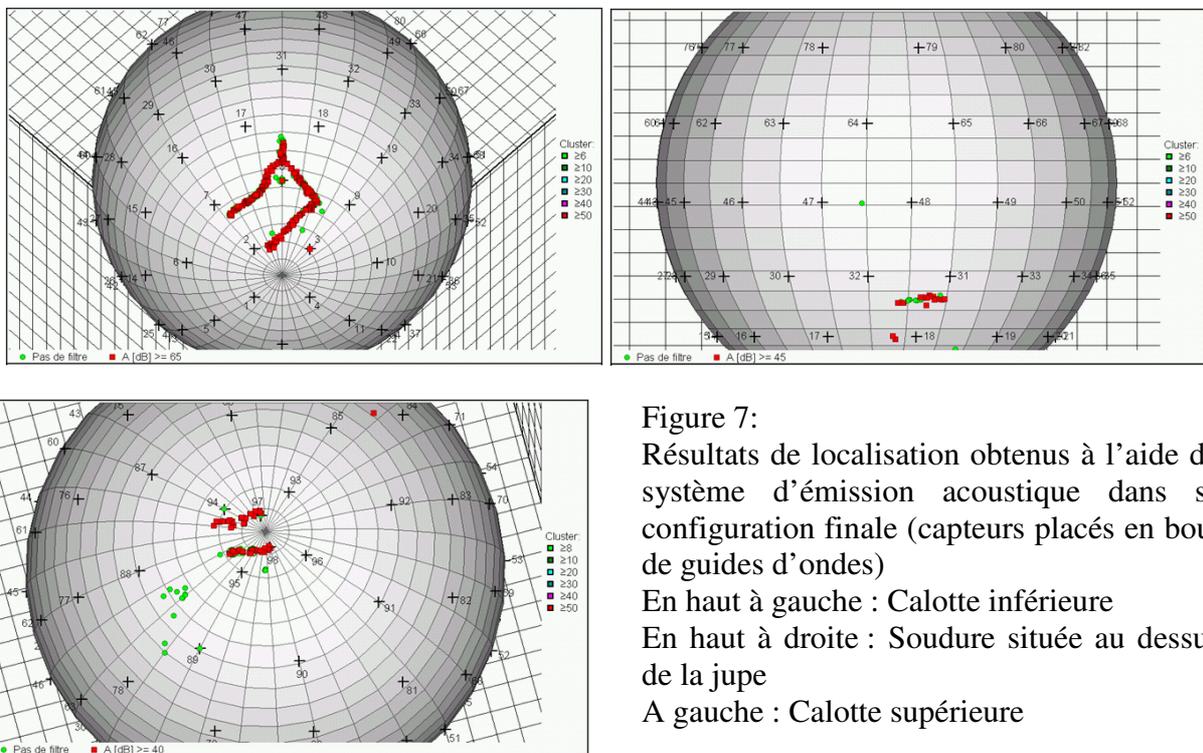


Figure 7:  
Résultats de localisation obtenus à l'aide du système d'émission acoustique dans sa configuration finale (capteurs placés en bout de guides d'ondes)  
En haut à gauche : Calotte inférieure  
En haut à droite : Soudure située au dessus de la jupe  
A gauche : Calotte supérieure

Une fois les données corrigées et analysées, nous avons pu établir les conclusions suivantes :

Le système de surveillance par émission acoustique permet une couverture complète des sphères en localisation planaire sous certaines conditions d'acquisition. L'utilisation de guides d'onde permet en outre d'assurer la stabilité dans le temps des performances du système, puisqu'aucune dégradation ne devrait intervenir, compte-tenu de la conception de tous les éléments mis en place, et des préconisations faites à l'exploitant de l'installation.

## **CONCLUSIONS**

Soumis à de nouvelles contraintes environnementales depuis plusieurs années, les grands stockages de gaz ou autres matières dangereuses, doivent être protégés, le plus souvent par un talus recouvrant complètement l'équipement ou un sarcophage dans lequel est placé ce dernier. En conséquence, la paroi résistante de ce type d'équipement n'est plus accessible pour les contrôles périodiques.

En tant que mesure compensatoire à ce problème d'accessibilité, l'émission acoustique est la solution principale, puisqu'en tant que méthode de contrôle globale, elle permet d'effectuer un diagnostic de l'intégralité de la paroi résistante lors d'épreuves hydrauliques ou pneumatiques, réalisées à chaque échéance de requalification, ou selon les prescriptions du donneur d'ordre.

L'exemple développé dans cet article illustre toutes les étapes de la mise en œuvre de la technique d'émission acoustique, de l'étude en laboratoire jusqu'aux essais de qualification du système mis en place dans sa configuration définitive.

Ce projet, remarquable par sa taille, puisqu'il s'agit de 4 sphères de stockage de 4000 m<sup>3</sup> chacune, a nécessité la mise en œuvre de près de 400 voies de mesure émission acoustique. C'est un des plus grands projets de ce type, mené par le CETIM, en collaboration avec tous les acteurs de ce projet.

Il est important de souligner que, outre le fait que le système mis en place a pour objectifs d'assurer le diagnostic des sphères pour les prochaines échéances de requalification, l'émission acoustique a été un moyen de contrôle supplémentaire lors des épreuves hydrauliques initiales, permettant d'obtenir une signature de référence de chaque équipement.

Fort de ses multiples expériences dans ce type d'applications, le CETIM a démontré que cette technologie, si elle est maîtrisée peut s'intégrer sans obstacle à de grands projets industriels de ce type, ou plus largement pour la surveillance de structures inaccessibles.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Développement and use of NDE Methods on pressure equipment : Industrial Experience in applying acoustic emission, M. Mediouni, J. Catty, C. Herve and M. Cherfaoui, ECNDT 2006, Berlin, September 2006.
- [2] Guide AFIAP/GEA Guide des Bonnes Pratiques pour le contrôle par Emission Acoustique des Equipements Sous Pression (1ere Edition Mai 2004), SADAVE éditeur, ISBN 2-906319-82-1.