

**L'EMISSION ACOUSTIQUE ;**  
**APPLICATIONS AUX EQUIPEMENTS INDUSTRIELS**  
*ACOUSTIC EMISSION; APPLICATIONS TO INDUSTRIALS*  
*EQUIPMENTS*

M.Riethmuller  
Institut de Soudure Industrie  
E-Mail : m.riethmuller@institutdesoudure.com

L'Emission Acoustique (EA), est aujourd'hui reconnue pour sa maturité dans les applications de vérification de l'intégrité des équipements sous pression. Cette méthode non intrusive et non destructive, peut être mise en œuvre notamment lors de point "zéro" pendant l'épreuve initiale de réception et en service, sans arrêt des équipements industriels et dans des conditions de fonctionnement normales.

Une première application est exposée illustrant l'apport de la méthode par rapport à une épreuve hydraulique conventionnelle vis-à-vis de l'optimisation de la durée de vie de l'appareil. Un suivi en service sur un équipement à paroi chaude est également présenté avec la technique des guides d'ondes.

*Acoustic Emission (AE) is now recognized for its maturity in applications for verifying and estimating the integrity of pressure equipment. This non-intrusive and non-destructive method can be implemented as a "finger printing" test either during the initial reception or in service, without shutting down industrial equipment and under normal operation.*

*A first application is described illustrating the contribution of the method compared with a conventional hydraulic test towards the optimization of the lifetime of the device. A follow-up in service on wall equipment at elevated temperature is also presented with waveguides technique.*

## **LE PRINCIPE**

L'Emission Acoustique résulte d'une libération d'énergie sous forme d'ondes élastiques transitoires au sein d'un matériau sous contrainte de tensions. Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine d'émission, tels que :

- ✓ la relaxation de contraintes dans les soudures
- ✓ la propagation de fissures
- ✓ la corrosion
- ✓ les frottements
- ✓ les fuites (de liquides ou de gaz).

C'est l'analyse de ces ondes qui permet le diagnostic de l'intégrité de l'équipement, avec la localisation des sources actives sur le développé de l'équipement et leur criticité.

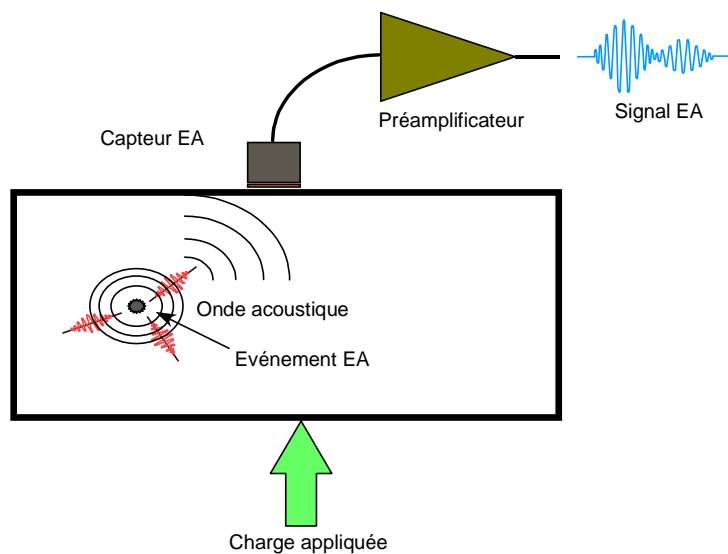


Fig. 1 : représentation du phénomène

La détection est généralement réalisée par des capteurs de type piézo-électrique placés au contact de la structure.

Le choix de l'instrumentation est dicté principalement par les événements sources recherchés et les lois de propagation des ondes (modes, vitesses et atténuations) observées.

Le spectre de réponse en fréquence des éléments sensibles est généralement compris entre 70 kHz et 400 kHz.

## LE SIGNAL

Les systèmes de traitement actuels utilisent l'émission discontinue, correspondant à un signal caractérisé par un temps de début et de fin. Le signal type d'émission acoustique peut se présenter sous la forme suivante :

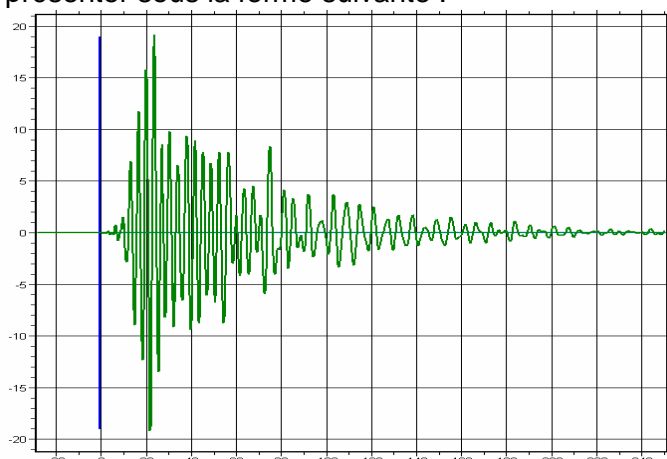


Fig. 2 : représentation temporelle d'un signal type

Les principales caractéristiques déterminées par le système de mesure sont les suivantes:

- ✓ La durée
- ✓ Le temps de montée
- ✓ L'amplitude maximum
- ✓ Le nombre d'alternance
- ✓ L'énergie

Le temps d'arrivée de l'onde sur un capteur est également enregistré afin de permettre une localisation précise.

La représentation donnée en figure 2 est idéale, en pratique les signaux enregistrés lors des contrôles, sont très complexes et très divers. Un algorithme de localisation permet de réaliser une cartographie des sources émissives détectées à l'aide d'un module dédié du logiciel adapté à l'instrumentation utilisée.

## LE PRINCIPE DE LOCALISATION PLANAIRE

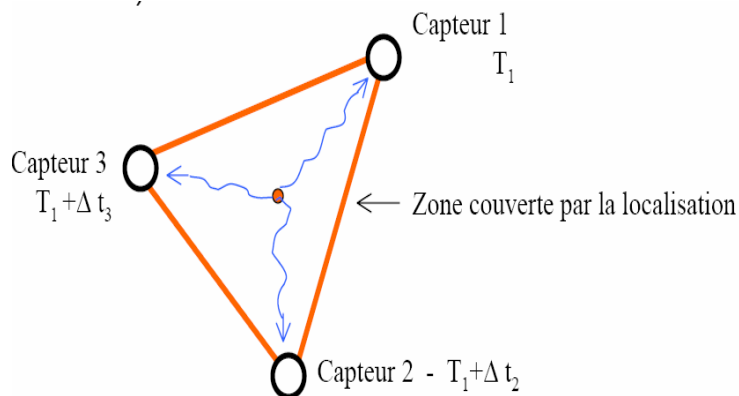


Fig. 3 : principe de localisation

L'onde ultrasonore se déplace à la vitesse mesurée en amont du contrôle et, par triangulation, la source est localisée sur le développé de l'équipement. Les différences de temps d'arrivée sur les capteurs sont utilisées.

Une précision inférieure au mètre carré est généralement obtenue sur les applications industrielles courantes.

La précision de localisation va dépendre du nombre de capteurs instrumentés, des conditions de contrôle, de l'état de surface de l'appareil et de la présence d'accessoires.

## LA MISE EN ŒUVRE

Le contrôle est généralement effectué suivant la chronologie suivante :

- ✓ Mesure d'atténuation des ondes ultrasonore
- ✓ Mise en place des capteurs
- ✓ Mise sous contrainte de l'équipement suivant un cycle prédéfini
- ✓ Enregistrement des signaux pendant le cycle
- ✓ Analyse des résultats et classification de l'activité détectée

La vitesse et l'atténuation des ondes se propageant dans l'équipement conditionnent l'implantation des capteurs et les zones de couverture de l'enveloppe sous pression de l'équipement. Ces paramètres s'obtiennent généralement en générant des ondes et en mesurant leur temps de parcours et leur décroissance à plusieurs distances entre deux capteurs.

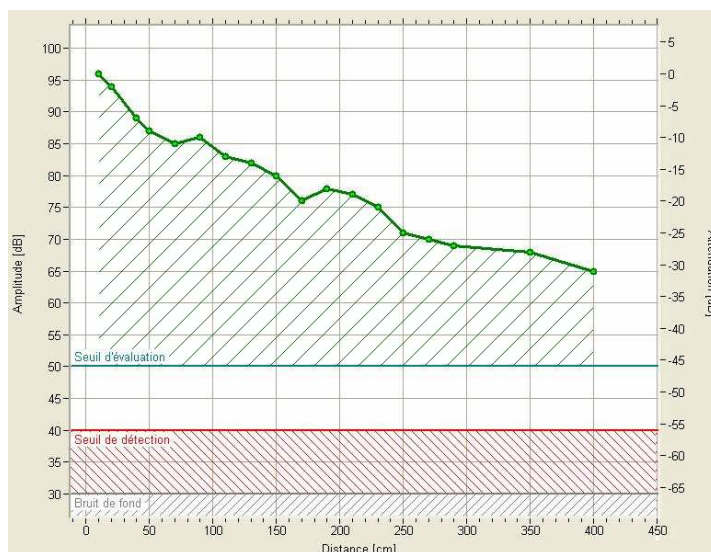


Fig. 4 : profil expérimental d'atténuation

La courbe d'atténuation permet de déterminer le rayon d'écoute intrinsèque du capteur (intersection entre la courbe d'atténuation et le seuil d'acquisition).

Les ondes sont générées en simulant un événement à l'aide de sources Hsu-Nielsen représentées par la rupture de mines de graphite. Ces ondes sont très énergétiques et reproductibles et permettent d'obtenir un profil d'atténuation expérimental représentatif.

## LE CYCLE DE PRESSURISATION

Lorsque la contrainte principale est générée par la pression interne de l'équipement, le diagnostic acoustique est réalisé en suivi d'un cycle de variation de pression bien défini. Ce cycle comporte des phases de montées, des paliers et des descentes.

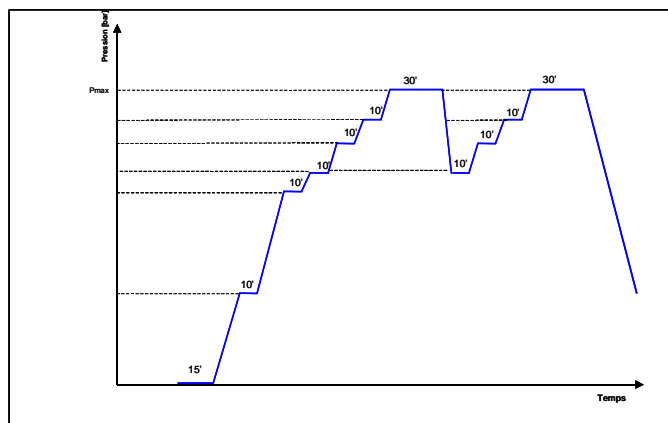


Fig. 5 : exemple de cycle de pressurisation

Le cycle de variation de pression est généralement d'une durée de 4 à 6 heures.

Une attention particulière est apportée à la détection d'activité en palier de contrainte, car une apparition d'ondes ultrasonores à ce moment du cycle traduit généralement une évolution d'indications dans le matériau.

## LES DIFFICULTES

De nombreux phénomènes d'endommagement mécanique ou de processus de corrosion peuvent être à l'origine d'émission acoustique. La propagation d'indications de type micro fissures ou fissure, les fuites, la rupture d'un film d'oxyde produit par la corrosion sont les éléments essentiels à détecter dans un équipement sous pression.

Il est alors important d'identifier d'autres phénomènes générateurs d'EA comme la relaxation de contraintes dans les soudures, les frottements et les appuis mécaniques.

L'effet mémoire des matériaux, propriété métallurgique appelé effet Kaiser, caractérisé par l'absence d'EA détectable jusqu'au dépassement de la charge maximale précédemment appliquée, implique de prendre beaucoup de précautions. En effet, dans le cas d'un essai en service, il est impératif de connaître la pression maximale atteinte sur une période de référence comprise entre 6 et 12 mois en amont du contrôle. La pression maximale de l'essai devra dépasser cette pression d'au moins 10 %.

L'ensemble de ces éléments implique d'avoir recours à du personnel disposant d'un excellent niveau technologique et met en évidence l'importance du niveau de savoir faire et du retour d'expérience pour appliquer industriellement de manière fiable et vérifiable cette méthode de CND.

Le diagnostic rendu ne donne aucune information sur la nature de l'indication, mais seulement une cartographie des sources actives.

## SUIVI DE L'ÉPREUVE HYDRAULIQUE INITIALE D'UN ESP " POINT ZERO "

Cet Equipement Sous Pression (ESP) est notamment destiné à contenir un élément sensible hydro réactif. De plus, à plusieurs reprises, au cours de sa vie, l'équipement sera ouvert pour accéder et modifier cet élément.

L'EA lors de l'épreuve hydraulique initiale, apporte beaucoup de renseignements, pour évaluer l'intégrité de la structure en fin de fabrication et obtenir un point « zéro ». La présence éventuelle de défauts évolutifs avant qu'ils soient critiques est mise en évidence. La cartographie obtenue, servira de référence pour les contrôles suivants qui seront réalisés après chaque modification notable suite à ouverture de la structure.



Fig.6 : vue d'ensemble de l'équipement instrumenté

Nuance : Acier inoxydable  
austénitique X2 CrNi18-9  
Diamètre externe : 1 276 mm  
Hauteur : 1 184 mm  
Épaisseur virole externe : 4 mm  
Épaisseur virole interne : 6 mm  
Pression de service (PS) : 6.0 bar  
Pression d'épreuve ( $P_e=1.43*PS$ ) : 8.6 bar

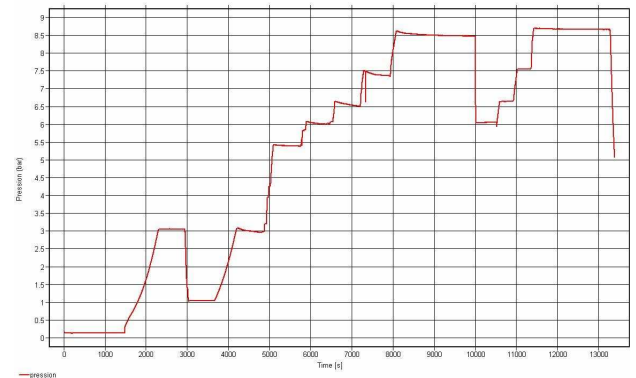


Fig. 7 : Profil du cycle de pressurisation

Pour ce point « zéro » six capteurs ont été fixés sur l'enveloppe extérieure de l'appareil, la vérification des zones couvertes par cette implantation est obtenue en générant des ondes par sources Hsu-Nielsen sur les principales soudures de l'enveloppe sous pression, voir figure 8.

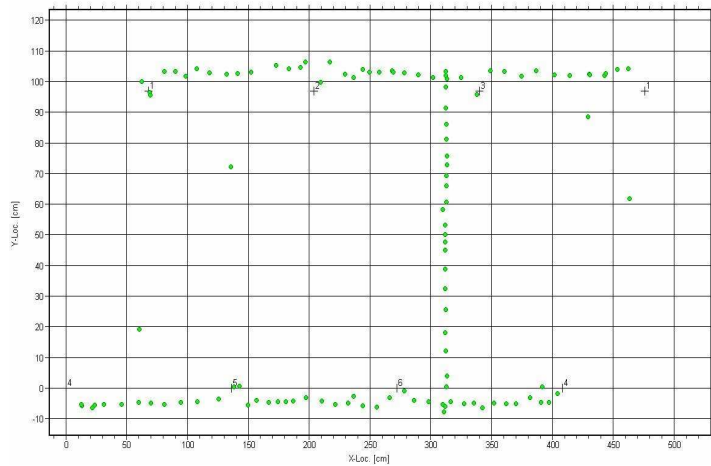


Fig. 8 : Cartographie de la position des soudures



L'activité détectée sur l'ensemble de l'équipement, obtenue par la couverture de chaque capteur, n'a pas mis en évidence d'événement de nature à remettre en cause l'intégrité de l'équipement.

La cartographie obtenue contient quelques sources qu'un algorithme de concentration permet de mettre en évidence sur le développé. Ces sources ne présentent pas de caractéristiques élevées. Les suivis dans le temps permettront de surveiller leur éventuelle évolution.

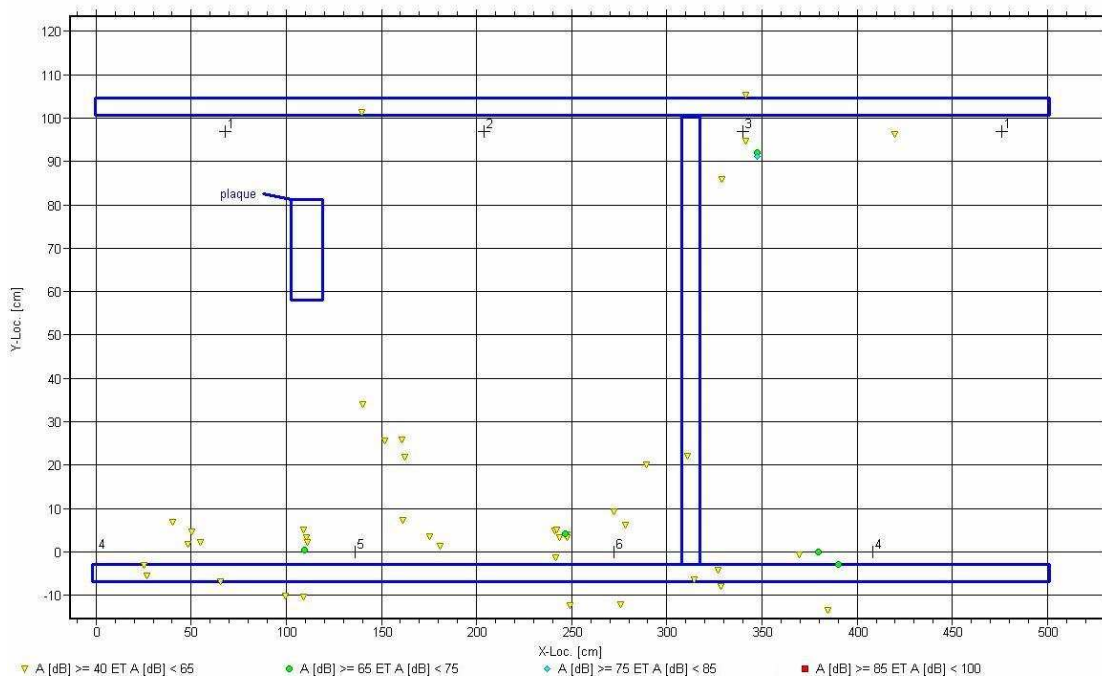


Fig. 9 : Cartographie acoustique "point zéro"

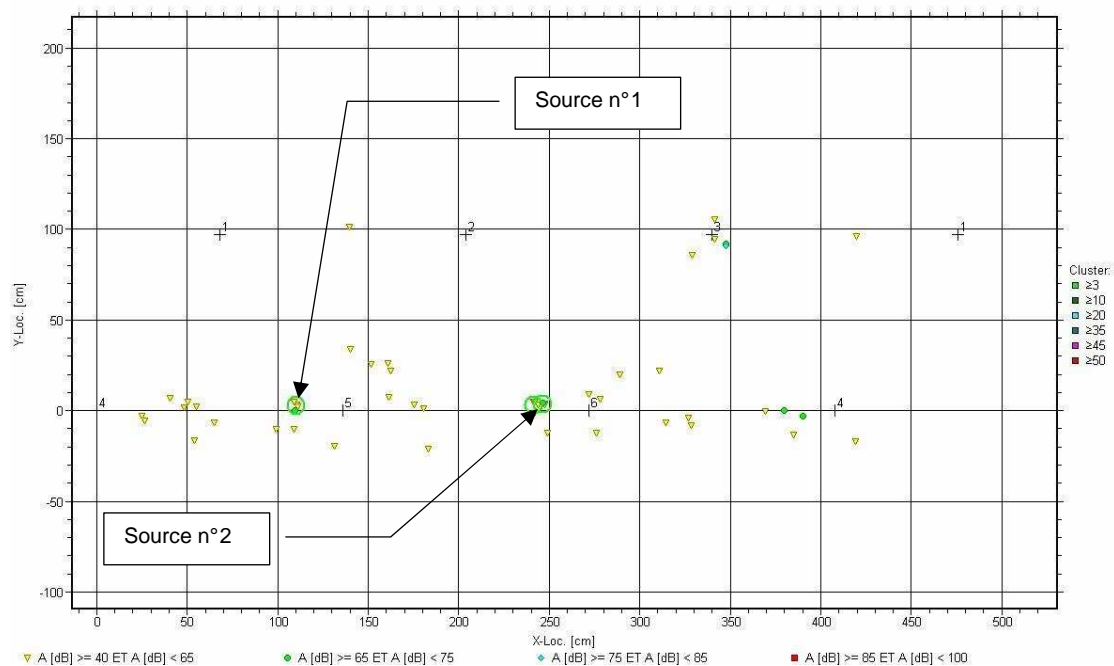


Fig. 10 : Cartographie acoustique "point zéro" avec position des sources

## SUIVI EN SERVICE LORS D'UN CYCLE DE VARIATIONS DE PRESSIONS

Certaines unités de raffineries contiennent des ESP (type réacteurs) à l'intérieur desquels sont présents des catalyseurs hydro réactifs. Ces éléments très coûteux représentent de nombreuses contraintes vis-à-vis d'une épreuve hydraulique de requalification périodique. Un suivi par EA d'un cycle de variations de pressions en service, peut dans certains cas, permettre le report de l'essai de résistance réglementaire et apporter des renseignements sur l'état de la structure métallique tout en générant d'importantes économies pour l'exploitant.

L'équipement concerné est un réacteur à paroi chaude, participant à une boucle de process dont la température de fonctionnement est proche de 330 °C. L'ensemble des vérifications et acquisitions acoustique se fait, sans arrêt de l'équipement et dans les conditions d'exploitation de l'ESP indiquées ci-dessous, qui constituent un "challenge" pour l'application en service de techniques de contrôles non destructif.



Fig. 11 : Réacteur en service

Nuance :	A204 A
Diamètre intérieur :	1152 mm
Hauteur :	4 654 mm
Volume :	4 600 l
Epaisseur viroles :	24 mm
Température de calcul :	450 °C
Pression de calcul :	32,2 bar

Cet équipement est calorifugé, à l'intérieur circule notamment du butane en phase gazeuse, à travers trois lits de catalyseur.

La température extérieure élevée impose un choix technique judicieux vis-à-vis du type de capteurs et de leur implantation.

Le nombre de capteur doit rester compatible avec une bonne couverture acoustique et la nécessité d'ouvertures du calorifuge pour accès à la paroi sans présenter une perte de calories excessive.

Le type de capteur doit permettre une bonne sensibilité de détection tout au long du cycle de sollicitation.

Pour obtenir un bon niveau de sensibilité, des capteurs "classiques", résonnants aux environs de 150 kHz sont utilisés. Toutefois, la physique de ces capteurs limite leur utilisation à une température de contact de 170 °C. Des guides d'ondes ont été spécialement élaborés pour déporter chaque élément sensible, et rendre compatible la température de contact aux contraintes de fonctionnement des capteurs.

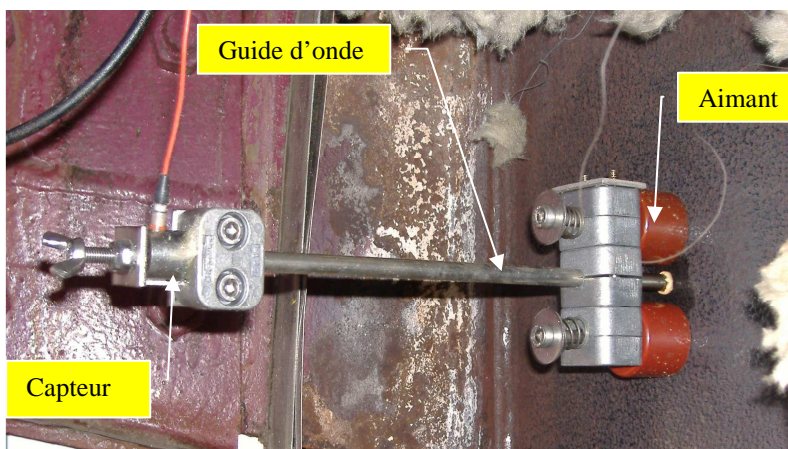


Fig.12 : guide d'onde utilisé

Le guide d'onde est constitué d'une barre d'acier type inoxydable de 8 mm de diamètre.

Son gradient de température et sa longueur permettent d'obtenir une température, proche de 60 °C à son extrémité.

L'onde se propageant dans la tôle constitutive de l'équipement transite dans le guide, jusqu'à l'élément sensible.



Pour maintenir le guide d'onde, des aimants haute température sont utilisés et à chaque interface, la continuité d'impédance acoustique est assurée par un couplant haute température.

Pour cette opération, seize capteurs ont été instrumentés sur l'ensemble de l'équipement. Une validation de l'implantation des capteurs et de leur sensibilité a été réalisée avant et après le suivi du cycle de sollicitation.

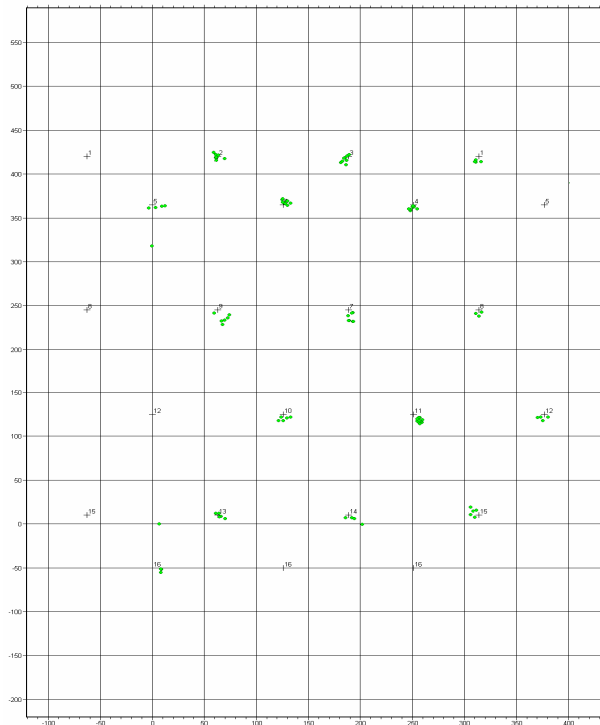


Fig.13 : résultats de localisation

Cette vérification est réalisée en générant des ondes (sources Hsu-Nielsen) sur l'enveloppe métallique à proximité de chaque guide d'onde dans des conditions de services.

L'algorithme localise chaque rupture de mine sur le développé de l'équipement, à proximité des 16 capteurs voir figure ci-contre.

Ce résultat valide l'implantation des capteurs et la couverture acoustique de l'ensemble de l'enveloppe mise sous contrainte.

Cette mise en œuvre a permis de constater l'intégrité de l'enveloppe métallique de l'équipement lors du cycle de sollicitation. L'émission acoustique apporte dans ce cas une sécurité supplémentaire en mettant en évidence les éventuelles indications évolutives pouvant apparaître en service, sans générer de dommages collatéraux dans un process en fonctionnement.

## CONCLUSIONS

Institut de Soudure Industrie a appliqué l'émission acoustique ces dernières années sur des équipements très variés : sphères, réservoirs, tuyauteries, petits vracs de GPL, condenseurs, bacs de stockage, et a développé des procédures spécifiques applicables dans des conditions d'environnement difficile : installations enterrées ou sous talus, températures de paroi élevée, accessibilité réduite, matériaux mixte acier/béton.

Ces applications variées ont prouvé que l'émission acoustique, était aussi bien une méthode d'investigation pour l'étude des matériaux qu'un procédé de contrôle non destructif. C'est un outil performant pour la maintenance des installations industrielles. L'utilisation de L'EA est également une source d'économies importantes pour l'exploitant sur ses coûts indirects. En effet le recours à cette méthode permet : une réduction des temps d'arrêt, un allongement de la durée de vie d'un équipement, le remplacement des catalyseurs suivant un planning non pas conditionné par les besoins d'une inspection mais uniquement du fait d'une perte d'efficacité liée au process.

Les avantages suivants sont également à considérer:

- ✓ suivi en temps réel de l'évolution des indications conduisant à une amélioration de la sécurité des installations et des personnels,
- ✓ évaluation de l'intégrité globale d'une structure,
- ✓ possibilité de surveillance sans arrêt de process (même pour des appareils fonctionnant à températures élevées), ni démontage,
- ✓ monitoring de composants inaccessibles à des contrôles non destructifs conventionnels.

La mise en œuvre de l'EA doit être fiable et vérifiable, ce qui implique d'avoir recours à du personnel disposant d'un excellent niveau technologique et d'un important savoir faire capitalisé sur du retour d'expérience industriel.