



# Contrôles et expertises des soudures de canalisations de GRT GAZ



**Service spécialisé  
ITAC Inspection**

**CONTRÔLE PAR  
TOFD ET PHASED  
ARRAY**



**BUREAU  
VERITAS**

Dans l'intérêt des entreprises et des Hommes



BUREAU  
VERITAS

## SOMMAIRE

- 1 Objectifs
- 2 Défauts recherchés
- 3 Développement réalisé par le service ITAC
- 4 Expériences Bureau Veritas





BUREAU  
VERITAS

1

## Objectifs



1

Contrôle par TOFD et  
PHASED ARRAY

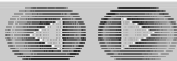
## Contrôle automatique des soudures par ultrasons

### ► Objectifs

- Contrôle automatique des soudures
- Contrôle rapide (jusqu'à 60 soudures par jour)
- Remise des résultats immédiatement après l'acquisition
- Détection de tous les types de défauts
- Contrôle adapté à différentes configurations (diamètre, épaisseur, chanfrein)
- Matériel adapté aux conditions de chantier



BUREAU  
VERITAS



Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

4

**BUREAU VERITAS**

1828

||

commissariat  
KNOWLEDGE

**Défauts recherchés**

← →

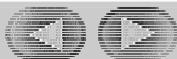
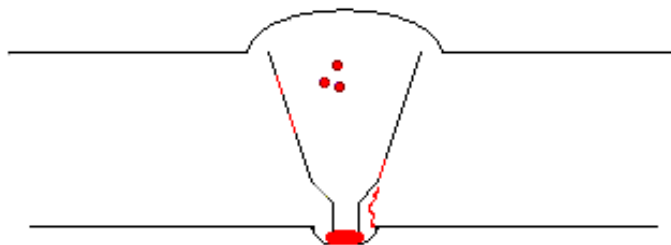
EXIT

5



► **Défauts recherchés**

- Manque de fusion sur chanfrein
- Manque de pénétration
- Fissure dans le cordon et en ZAT (Zone affectée thermiquement)
- Inclusion
- Soufflure
- Fissure transversale



**BUREAU VERITAS**  
1828

**BUREAU VERITAS**

III

Skills  
Knowledge  
Innovation

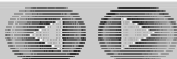
Développement réalisé par le service ITAC

7

◀ ▶ EXIT

## ▸ Développement réalisé par ITAC

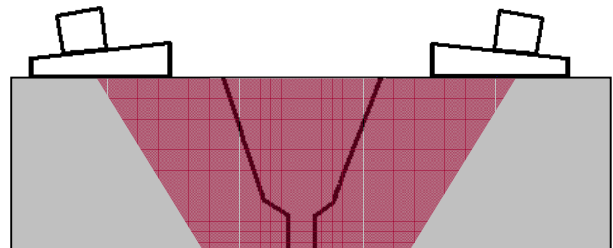
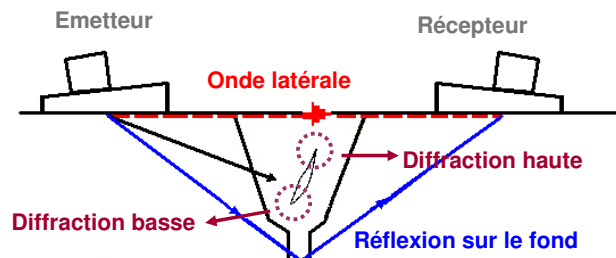
- Combinaison de 3 méthodes ultrasonores :
  - » Méthode TOFD
  - » Méthode Phased Array
  - » Méthode Tandem
- Mise en place du système de contrôle sur robot
- Réalisation de pièces de référence
- Rapport de contrôle
- Mise en place de l'intégralité de la chaîne de contrôle dans un véhicule adapté aux conditions de chantier



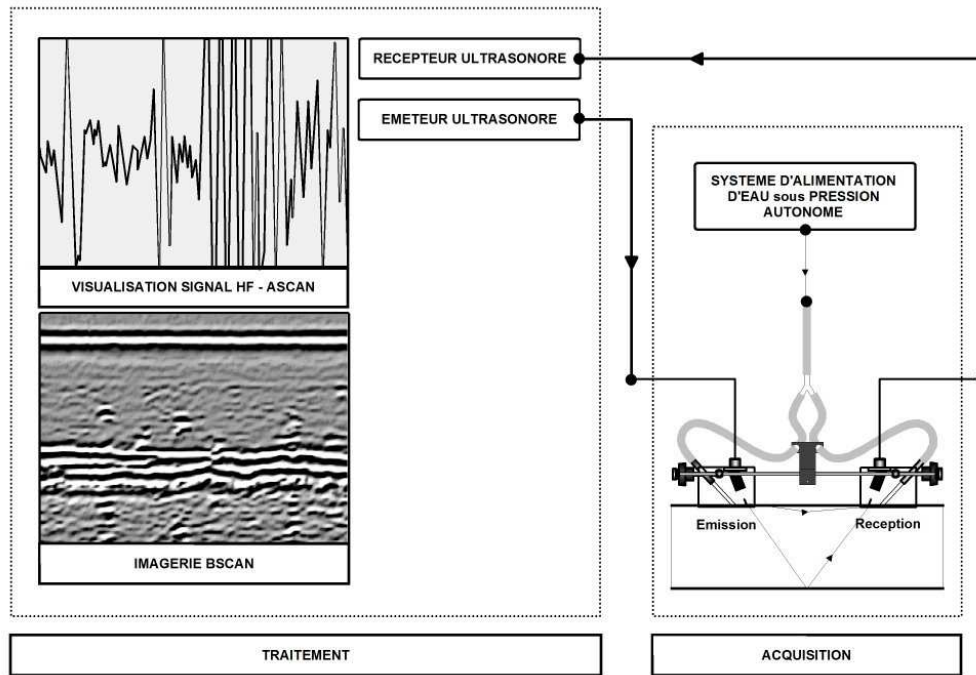


► **Contrôle TOFD : principe**

- Le principe du contrôle TOFD est d'exploiter les phénomènes de diffraction générés par les bords des défauts. Il permet, non seulement la détection des défauts dans les soudures mais aussi de déterminer la hauteur des défauts.
- Une soudure est contrôlée en positionnant deux traducteurs de part et d'autre. Ces traducteurs fonctionnent en transmission. Les traducteurs sont choisis de telle manière que le faisceau soit très divergent, afin de pouvoir contrôler le plus grand volume possible de la soudure, si ce n'est la totalité.
- Si un défaut est présent dans la soudure, une partie de l'énergie émise va être diffractée et récupérée par le traducteur récepteur. La mesure du temps de vol permettra de localiser le défaut en profondeur dans la soudure.



► Contrôle TOFD : principe

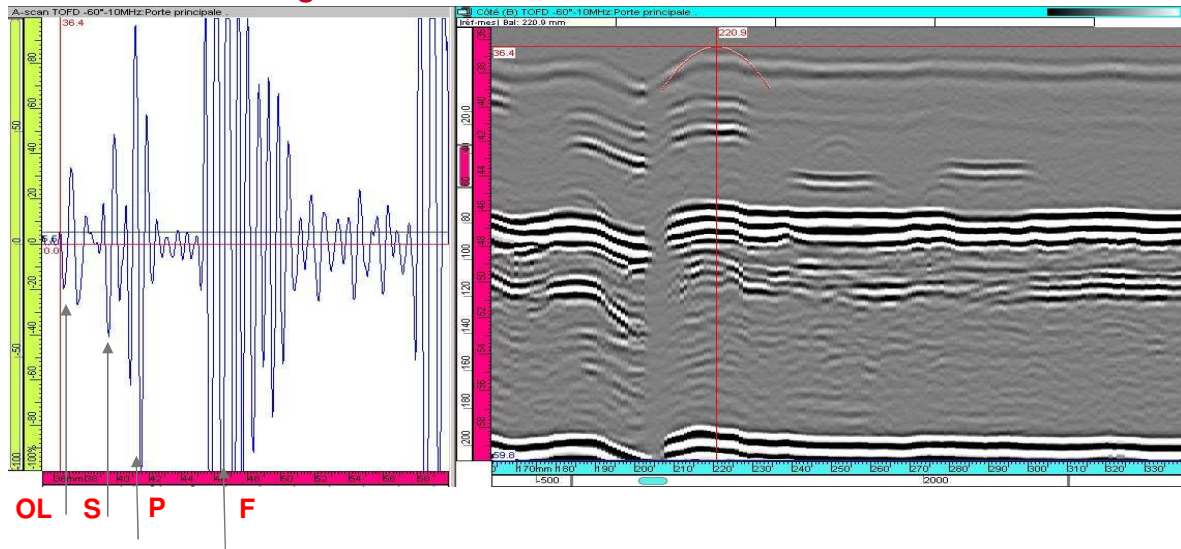


### 3

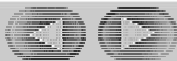
## Contrôle TOFD et PHASED ARRAY

# Contrôle automatique des soudures par ultrasons

### ▶ Contrôle TOFD : imagerie

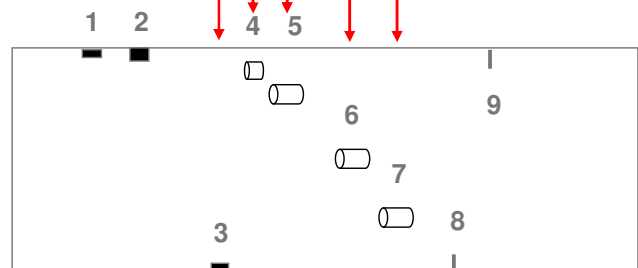
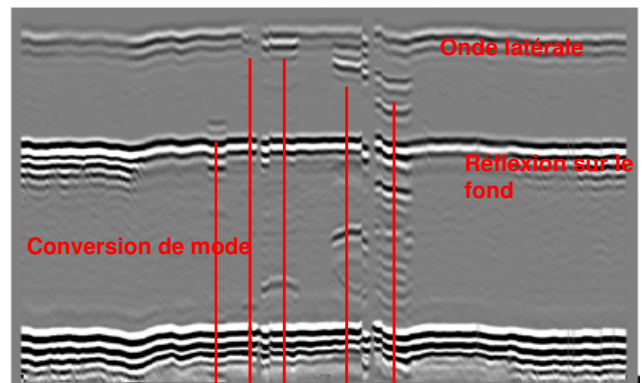


- OL : Onde latérale. Elle est utilisée comme référence de la surface de sondage
- S : Echo de diffraction en sommet du défaut
- P : Echo de diffraction en pied de réflecteur
- F : Echo de fond

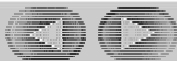


► **Contrôle TOFD : imagerie**

- 1 : fente longitudinale de 1mm de hauteur en surface non vue en TOFD
- 2 : fente longitudinale de 2mm de hauteur en surface non vue en TOFD
- 3 : fente longitudinale de 1mm de hauteur en racine
- 4 : génératrice de diamètre 2mm à 4mm de profondeur
- 5 : génératrice de diamètre 3mm au 1/4 de l'épaisseur
- 6 : génératrice de diamètre 3mm à la moitié de l'épaisseur
- 7 : génératrice de diamètre 3mm au 3/4 de l'épaisseur
- 8 : fente transversale en racine non vue en TOFD
- 9 : fente transversale en surface non vue en TOFD



Pièce étalon présente sur chantier



**▶ Contrôle TOFD****• Avantages**

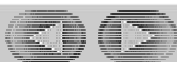
- » Contrôle de la soudure en un seul passage
- » Très grande sensibilité de détection
- » Méthode indépendante de l'orientation des défauts
- » Détermination de la longueur, de la profondeur et de la hauteur des indications
- » Rapidité de contrôle et d'analyse

**• Inconvénients**

- » Zone aveugle à proximité de la surface de sondage
- » Zone aveugle à proximité de l'écho de fond
- » Non détection des fentes en surface de faible hauteur
- » Non détection des fentes transversales

**• Solutions envisagées**

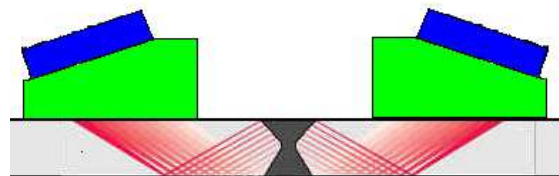
- » Utilisation de deux systèmes TOFD pour augmenter la sensibilité de détection (avec un système dédié au haut de la soudure)
- » Combinaison du système TOFD avec un système PHASED ARRAY et un système Tandem





### ▶ Contrôle PHASED ARRAY : principe

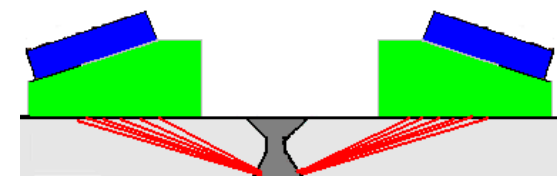
- Le principe des multiéléments consiste à utiliser des traducteurs divisés en de multiples éléments individuels
- Chaque élément peut être piloté indépendamment et simultanément comme émetteur et récepteur
- Par manipulation électronique, on peut générer principalement :
  - » Un balayage électronique (permet d'effectuer un contrôle d'une grande partie d'un volume soudé avec un angle défini sans mouvement de la sonde). C'est le cas retenu pour notre contrôle
  - » Une focalisation électronique (permet un contrôle avec plusieurs profondeurs de focalisation avec une seule sonde)
  - » Une déflexion électronique (permet d'effectuer un contrôle avec plusieurs angles de réfraction avec une seule sonde et en seul passage)



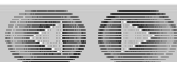
Balayage électronique



Focalisation électronique

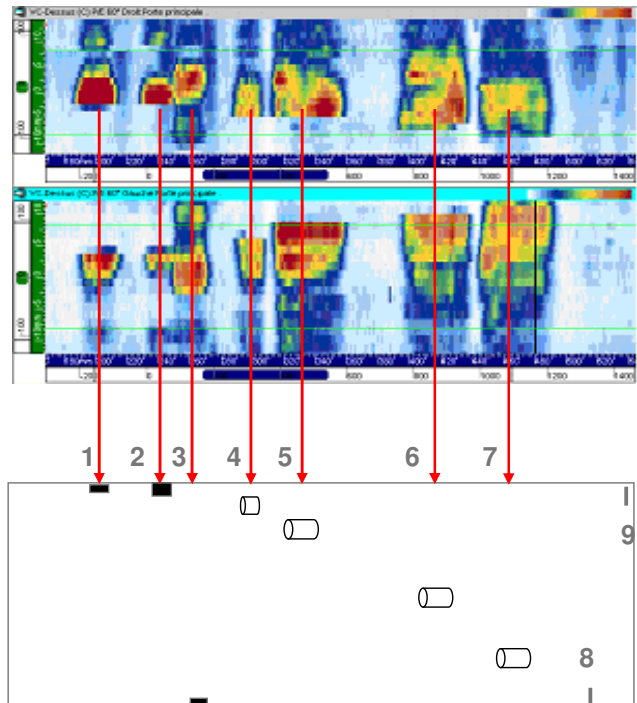


Déflexion électronique



► **Contrôle PHASED ARRAY : imagerie**

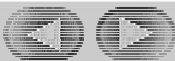
- 1 : fente longitudinale de 1mm de hauteur en surface
- 2 : fente longitudinale de 2mm de hauteur en surface
- 3 : fente longitudinale de 1mm de hauteur en racine
- 4 : génératrice de diamètre 2mm à 4mm de profondeur
- 5 : génératrice de diamètre 3mm au 1/4 de l'épaisseur
- 6 : génératrice de diamètre 3mm à la moitié de l'épaisseur
- 7 : génératrice de diamètre 3mm au 3/4 de l'épaisseur
- 8 : fente transversale en racine non vue en PHASED ARRAY
- 9 : fente transversale en surface non vue en PHASED ARRAY



Pièce étalon présente sur chantier



BUREAU  
VERITAS

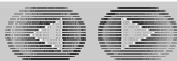


**▶ Contrôle PHASED ARRAY****• Avantages**

- » Contrôle de la soudure en un seul passage
- » Détermination de la longueur et de la profondeur des indications
- » Positionnement précis des indications dans le volume soudé
- » Permet la détection des fentes en surface non vue par la méthode TOFD
- » Pas de zone aveugle contrairement au TOFD
- » Angle adapté à l'orientation du chanfrein

**• Inconvénients**

- » Impossibilité de déterminer la hauteur des indications
- » Non détection des fentes transversales
- » Difficulté d'interprétation

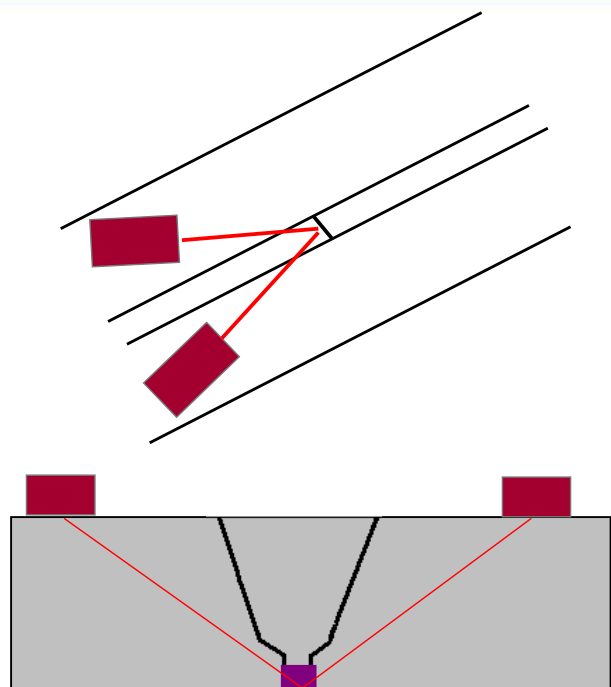
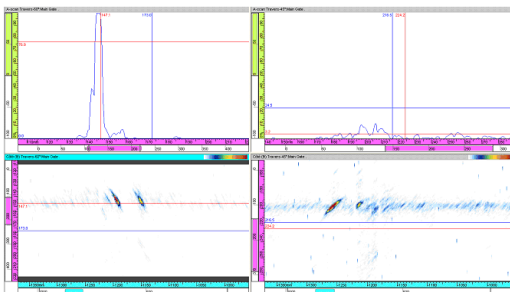


▶ **Contrôle TANDEM : principe**

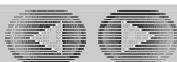
- Deux traducteurs classiques, un fonctionnant en émission et l'autre en réception sont positionnés face à face et orientés de manière à détecter les défauts en surface ou en racine

▶ **Avantage**

- Permet la détection des défauts transversaux non vus par le TOFD et les PHASED ARRAY



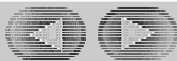
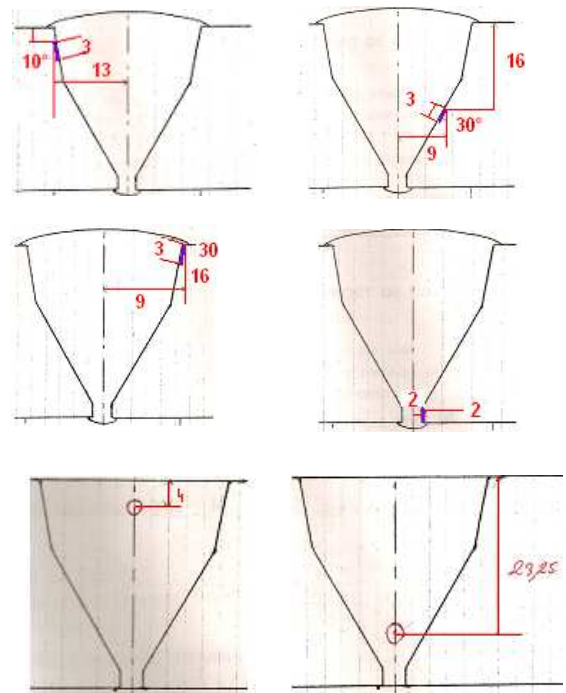
BUREAU  
VERITAS



► **Réalisation de pièces de référence**

- Afin de valider le développement, nous avons réalisé des pièces de référence comportant des entailles à différentes profondeurs ainsi que des génératrices à différentes profondeurs
- Le réglage de notre système de contrôle se fait grâce à une pièce d'étalonnage respectant le projet de norme TOFD
- Les pièces sont réalisés par un usineur qualifié qui nous remet un rapport de vérification de l'implantation et du dimensionnement des défauts artificiels

Différents types de défauts  
dans une pièce de référence





### 3

Contrôle TOFD et  
PHASED ARRAY

## Contrôle automatique des soudures par ultrasons

### ► Réalisation de pièces de référence

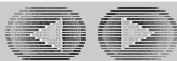
Les pièces de référence sont embarquées dans les véhicules sur chantier et sont représentatives des soudures à contrôler



Elles permettent d'effectuer tous les réglages ultrasons et mécaniques avant démarrage du chantier et de vérifier qu'il n'y a pas de dérive en cours de chantier



BUREAU  
VERITAS



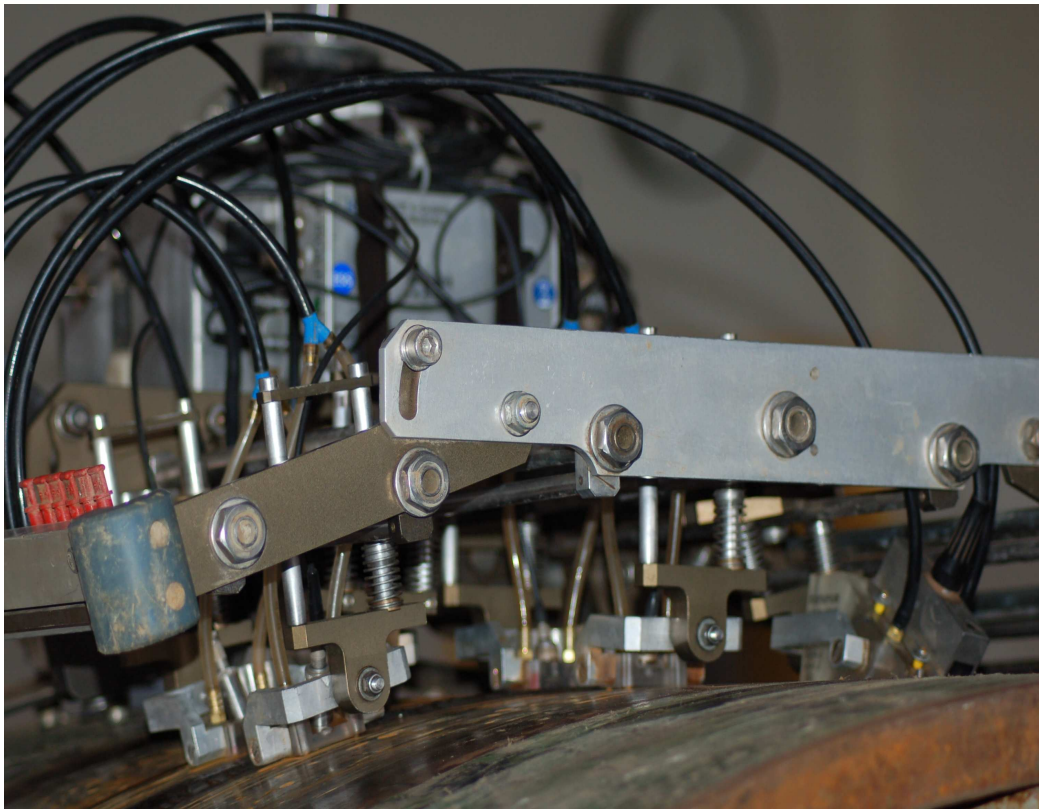
Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

19

3

Contrôle TOFD et  
PHASED ARRAY

## Contrôle automatique des soudures par ultrasons



BUREAU  
VERITAS



Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

20

REGION VAL DE SEINE  
Pôle National d'Expertise  
Département Diagnostic  
Installations en Service



### ATTESTATION DE QUALIFICATION

Ce système, le Vériscan, a  
fait l'objet d'une qualification  
par GRT GAZ en juillet 2006

Ce document atteste que le système de contrôle  
*VERISCAN Version TOFD-PA Révision 0*  
présenté par ITAC Bureau Veritas :

- est conforme aux Spécifications techniques  
GDF-MS-US-009, relatives à la « Qualification technique  
d'un système automatisé de contrôle par ultrasons pour  
l'examen sur chantier des soudures circulaires »,
- a satisfait aux tests de qualification en vue de sa mise en  
œuvre sur les chantiers du groupe Gaz de France le 6 juillet  
2006.

L'Ingénieur-Expert  
Essais Non Destructifs,

J.P. LE GRANDAIS

Le Chef de Département  
Diagnostic Installations en Service,

P. LALEVEE

RVS-FOR-0069 B

RVS-MDP-0028 B

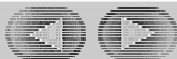


BUREAU  
VERITAS



► **Mise en place du système de contrôle sur robot**

- Le porteur comprend les deux systèmes TOFD, les deux transducteurs PHASED ARRAY et les deux systèmes TANDEM
- Ce porteur s'adapte sur un chariot de soudage automatique motorisé auquel on adjoint un codeur
- Une bande de guidage vient s'adapter sur le pipe à contrôler afin d'y positionner le chariot
- Tous les transducteurs ultrasons sont reliés à une chaîne 128 voies et l'ensemble du système est piloté par un ordinateur portable



3

Contrôle TOFD et  
PHASED ARRAY

## Contrôle automatique des soudures par ultrasons



BUREAU  
VERITAS



Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

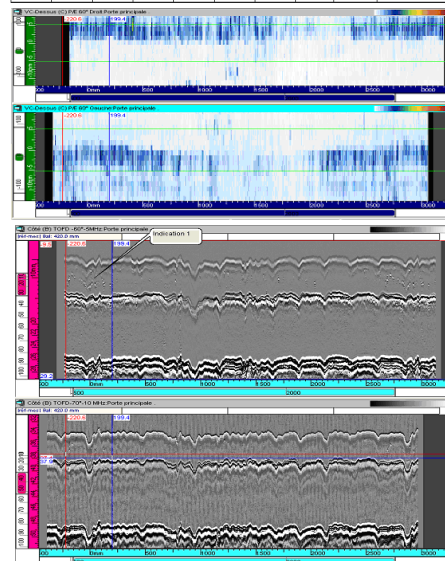
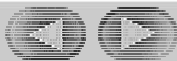
23



### ► Rapport de contrôle

- Le rapport de contrôle est imprimé immédiatement après le contrôle
- Le rapport comprend les éléments suivants :
  - » Tableau récapitulatif avec positions, longueurs, profondeurs et hauteurs des indications
  - » Imageries TOFD correspondant aux deux systèmes TOFD embarqués
  - » Représentations C-Scan pour les deux systèmes PHASED ARRAY (vue de dessus)
  - » Possibilité, si demandé, d'avoir une représentation de la soudure avec la position des indications

N° Indications	Position début (mm)	Position fin (mm)	Position Yo	Profondeur Zc	Hauteur ca	Amplitude Ne	Conformité		Observations
							Ca	Nca	
1a	-200a	140a	a	D=7 à 12a	a	a	a	a	a
2a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
3a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
5a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
6a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
7a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
8a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
9a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
10a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
11a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
13a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
14a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
15a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

BUREAU  
VERITAS

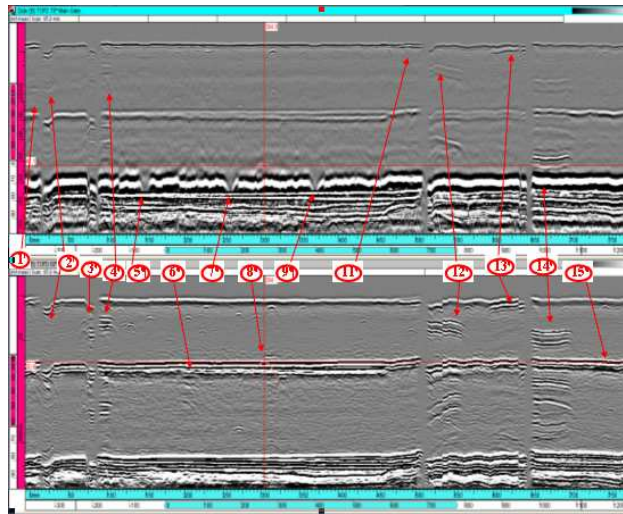
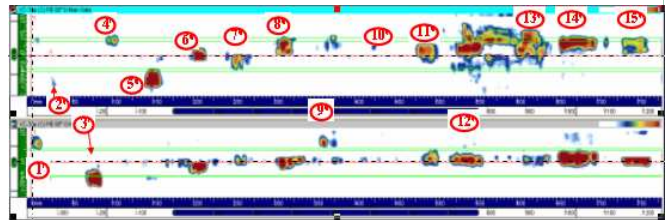
# 3

## Contrôle TOFD et PHASED ARRAY

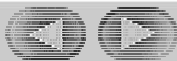
# Contrôle automatique des soudures par ultrasons

### Rapport de contrôle : résultat obtenu sur une pièce de référence

N° Indication	Position+ 3e	Longueur+ L3e	Position+ 1e	Profondeur+ 2e	Hauteur+ a1e	Amplitude+ 3e	Conformité		Observation
							Ce	NCe	
1a	0e	13e	13e	-0e	%	92%e	%	o	Sous-jointe
2e	21e	11e	-17e	-0e	%	44%e	%	o	Sous-jointe
3e	70e	20e	-11e	16.5e	4e	100%e	%	o	
4e	90e	14e	9e	16e	3e	91%e	%	o	
5e	140e	20e	-15e	0e	3e	100%e	%	o	Débouchant en surface
6e	195e	20e	0e	30e	<3mm	100%e	%	o	Défaut en radine
7e	250e	15e	0e	0e	3.5mm	92%e	%	o	Débouchant en surface
8e	305e	20e	3e	29e	2e	100%e	%	o	Défaut en radine
9e	355e	20e	13e	0e	3.5mm	100%e	%	o	Débouchant en surface
10e	420e	4e	5e	0e	0e	50%e	%	o	Défaut transversale
11e	475e	25e	0e	5e	3e	100%e	%	o	
12e	520e	40e	3e	16e	3e	100%e	%	o	
13e	600e	40e	2e	6e	2e	100%e	%	o	
14e	650e	50e	3e	21e	3e	100%e	%	o	
15e	730e	40e	3e	30e	0e	100%e	%	o	Défaut en radine



BUREAU VERITAS



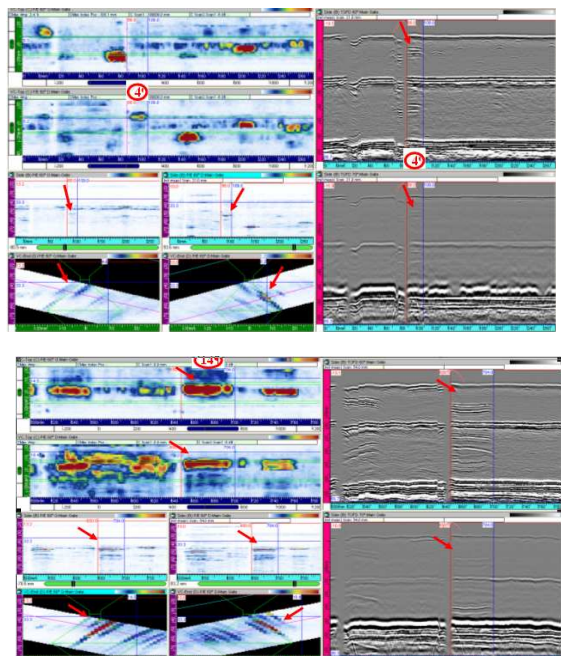
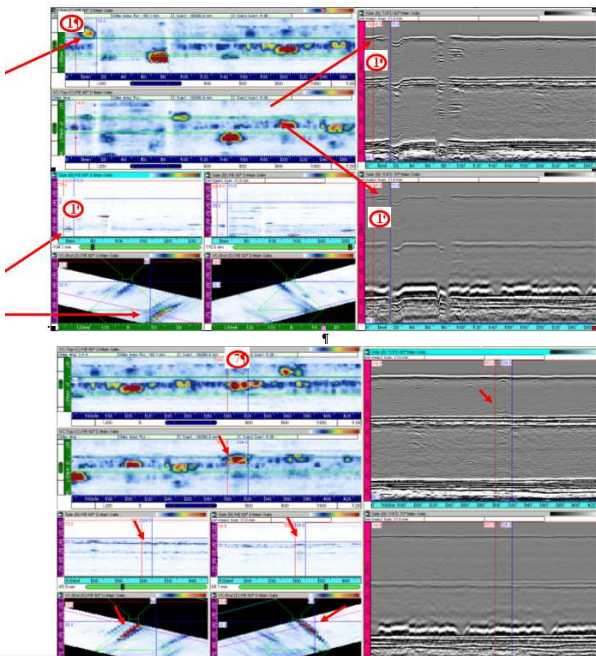
Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

3

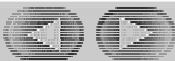
Contrôle TOFD et  
PHASED ARRAY

## Contrôle automatique des soudures par ultrasons

- ▶ Rapport de contrôle : résultat obtenu sur une pièce de référence



BUREAU  
VERITAS

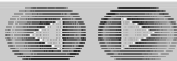


Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

26

► **Mise en place de la chaîne de contrôle dans un véhicule adapté**

- Conditions de chantier difficiles principalement à cause de l'état des pistes
- Nécessité de posséder un véhicule tout terrain
- Afin d'être autonome, une cuve à eau de 150 litres est embarquée dans le véhicule
- Un second véhicule emporte la pièce de référence indispensable au chantier ainsi que les diverses pièces de rechange nécessaires
- Le poste de commande du système se situe à l'intérieur du véhicule tout terrain



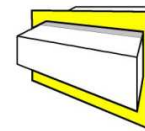
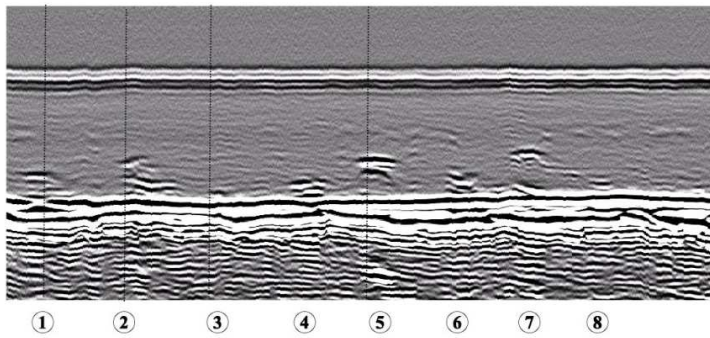
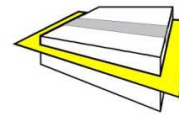
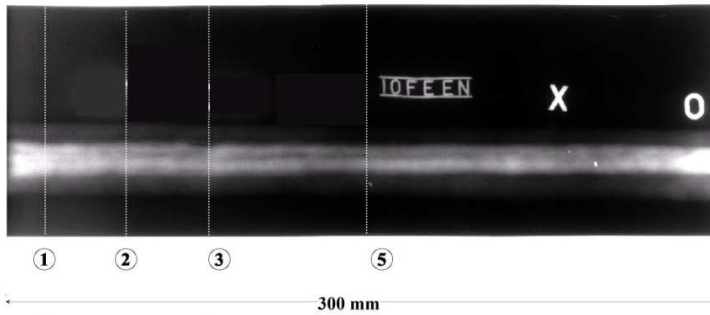
3

Contrôle TOFD et PHASED ARRAY

## Contrôle automatique des soudures par ultrasons

### Exemple de comparaison Ultrasons – Radiographie

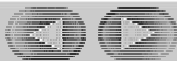
IMAGERIE RADIOGRAPHIQUE



IMAGERIE TOFD



BUREAU VERITAS



Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

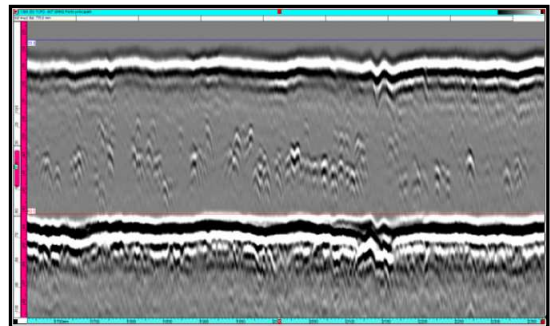
28



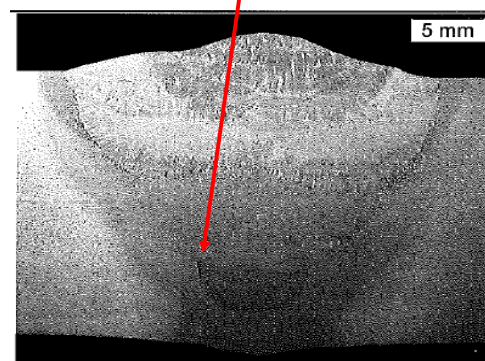
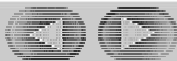
► **Exemple de comparaison**  
**Ultrasons – Métallographie**

- Sur une soudure contrôlée, un long défaut a été détecté en ultrasons, non visible en radiographie X
- La longueur du défaut était telle que la soudure a dû être coupée
- Un examen métallographique a été réalisé au niveau des défauts trouvés
- Des manques de fusion ont été mis en évidence

Grande zone de défaut



Manque de fusion

BUREAU  
VERITAS

**▸ Avantages du contrôle par ultrasons**

- **Obtention des résultats en temps réels : en cas de dérive au niveau du soudage, les soudeurs sont immédiatement prévenus**
- **Positionnement des indications en profondeur et possibilité de connaître leur hauteur (pratique pour le soudeur quand il doit réparer)**
- **Réduction du temps de contrôle comparativement à un contrôle radio**
- **Matériel plus facile à manipuler**
- **Suppression des contraintes liées à la radio, principalement en ce qui concerne la sécurité**



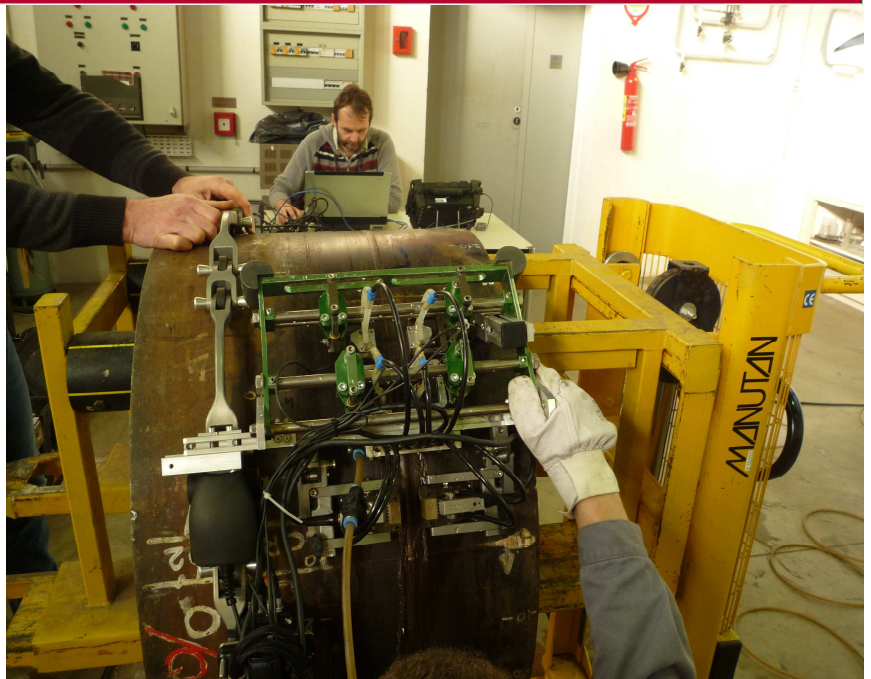


# V

Contrôle TOFD et  
PHASED ARRAY

## Contrôle automatique des soudures par ultrasons

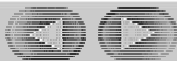
- Pour pouvoir contrôler les soudures de petites canalisations ( <S6 ) ou de postes ou bien encore sur des canalisations S6 effectuer des contrôles en fouilles, le service spécialisé ITAC a développé un VERISCAN semi automatique ( ou manuel guidé) mettant en œuvre les principes du TOFD PA et de palpeurs PE transversaux
- Ce système a réussi son agrément PNE en Décembre 2009



VERISCAN SEMI AUTOMATIQUE



BUREAU  
VERITAS



Le service spécialisé ITAC Inspection de Bureau Veritas -20/01/08

31

**Expériences Bureau Veritas**

- Contrôle de 2000 soudures sur le chantier de Fos-Cavaou – St Martin de Crau : diamètre 1200mm
- Contrôle de 250 soudures sur le chantier de la traversée de la Dordogne : diamètre 900mm
- Contrôle de 4000 soudures sur le Ringeldorf – Altorf : diamètre 500mm
- Contrôle de 4000 soudures sur le chantier de Beauce – Mantois : diamètre 900mm

BUREAU  
VERITAS