

# Choix des méthodes de contrôle non destructif applicables aux assemblages soudés

# Contrôles destructifs

- Exceptionnels sur les structures,
- Courants sur les pièces fabriquées en série,
- Souvent appliqués sur les «témoins de production»,
- Également appliqués sur des échantillons de qualification (MOS ou QS).

# Contrôles semi-destructifs

Sondage local pour apprécier la compacité de la soudure

- ◆ Par perçage ou trépannage,
- ◆ Par fraisage ou sciage (Weld Prober),
- ◆ Par meulage,
- ◆ Par fusion (arc air / meulage).

# Prélèvement d'un bateau au disque abrasif



# Contrôles destructifs sur échantillons

Examens métallographiques (macro/micro),

Duretés,

Tractions (T & L),

Pliages (E & e),

Essais de choc (ZF, ZL, ZAT, MB),

Cisaillement,

Déboutonnage,

Texture,

Essais spéciaux.

# Démarche qualité : NF E 83100-1 (Bureau d'études)

Tableau 2 : Grades de risques en fonction des conséquences d'une défaillance en exploitation et des conditions de remplacement de l'élément défaillant

Grades de risques	Défaillance en service		Nécessité du remplacement ou de la réparation de l'élément défaillant			Condition de remplacement ou de réparation de l'élément défaillant		Dépannage sur le site	
	Entraînant l'arrêt immédiat	N'entraînant pas l'arrêt immédiat	Immédiat	Différé		Difficile	Facile	Impossible ou difficile	Facile
				Délai court	Délai long				
R1	X		X			X		X	
R2		X		X		X		X	
R3		X			X		X		X

## Critère complémentaire : la soudabilité métallurgique

Tableau 3 : Choix de qualité de soudure

Sollicitations en service des joints soudés			Classes de qualité de soudure en fonction des grades de risques		
			R1	R2	R3
Assemblages calculés non soumis à un calcul en fatigue <sup>1)</sup> (charges statiques déterminantes)	Contraintes statiques	$0,8 \leq \frac{\sigma_c}{\sigma_e} \leq 1$	A	A	B
		$0,4 \leq \frac{\sigma_c}{\sigma_e} \leq 0,8$	A	B	C
		$\frac{\sigma_c}{\sigma_e} < 0,4$	B	C	C
Assemblages calculés soumis à un calcul en fatigue <sup>1)</sup> (charges cycliques déterminantes)	Contraintes cycliques	$0,7 \leq \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_a} \leq 1$	A	A	B
		$0,3 \leq \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_a} \leq 0,7$	A	B	C
		$\frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_a} < 0,3$	B	C	C
Assemblages non calculés		sollicités	A	A	B
		peu sollicités	A	B	C

$\sigma_c$  = Contrainte pondérée calculée.

$\sigma_e$  = Contrainte à la limite d'élasticité conventionnelle.

$\Delta\sigma$  = Étendue des contraintes appliquées.

$\Delta\sigma_a$  = Étendue des contraintes admissibles à  $2 \times 10^6$  cycles (voir l'annexe A).

**1) Le calcul en fatigue n'exclut pas la vérification en statique ; retenir le résultat le plus défavorable.**

Classe de qualité de soudure	Étendue des contrôles		
	Visuel	Radiographie ou ultrasons	Magnétoscopie ou ressuage
A	100	> 50 % <sup>1) 2) 3)</sup>	> 50 % <sup>1)</sup>
B	100	—	> 10 % <sup>4)</sup>
C	100	—	—

*1) Par accord entre le constructeur et l'acheteur, le contrôle par radiographie ou par ultrasons peut être remplacé par un contrôle par magnétoscopie ou par ressuage et vice versa.*

*2) Pour les assemblages d'angle, le contrôle par ultrasons est remplacé par un contrôle par magnétoscopie ou par ressuage si l'épaisseur la plus faible est inférieure ou égale à 10 mm.*

*3) Les points de concentration des contraintes (nœuds, croisements, extrémités des soudures,...) sont contrôlés à 100 % sur au moins 50 mm de part et d'autre de l'axe de concentration ou du bord du joint soudé.*

*4) Le contrôle par magnétoscopie ou par ressuage est supprimé pour les aciers dont la limite d'élasticité est inférieure à 355 MPa, si l'épaisseur «t» ou la gorge «a» est inférieure ou égale à 20 mm.*

**REMARQUES :** Les contrôles effectués doivent être répartis aussi régulièrement que possible sur l'ensemble de chaque joint soudé relevant de la même classe de qualité de soudure.

La longueur contrôlée ne doit pas être inférieure à 400 mm.

Tout joint soudé de longueur inférieure à 400 mm est contrôlé sur la totalité de sa longueur.

Pour les joints soudés de longueur supérieure à 400 mm, toutes les extrémités doivent être contrôlées sur une longueur au moins égale à 50 mm.

# Examen visuel

## Examen visuel (avant TTAS)

dimensionnel : - alignement  
- continuité  
- gorge

aspect (subjectif)



👉 Demande une expérience pratique des inspecteurs.

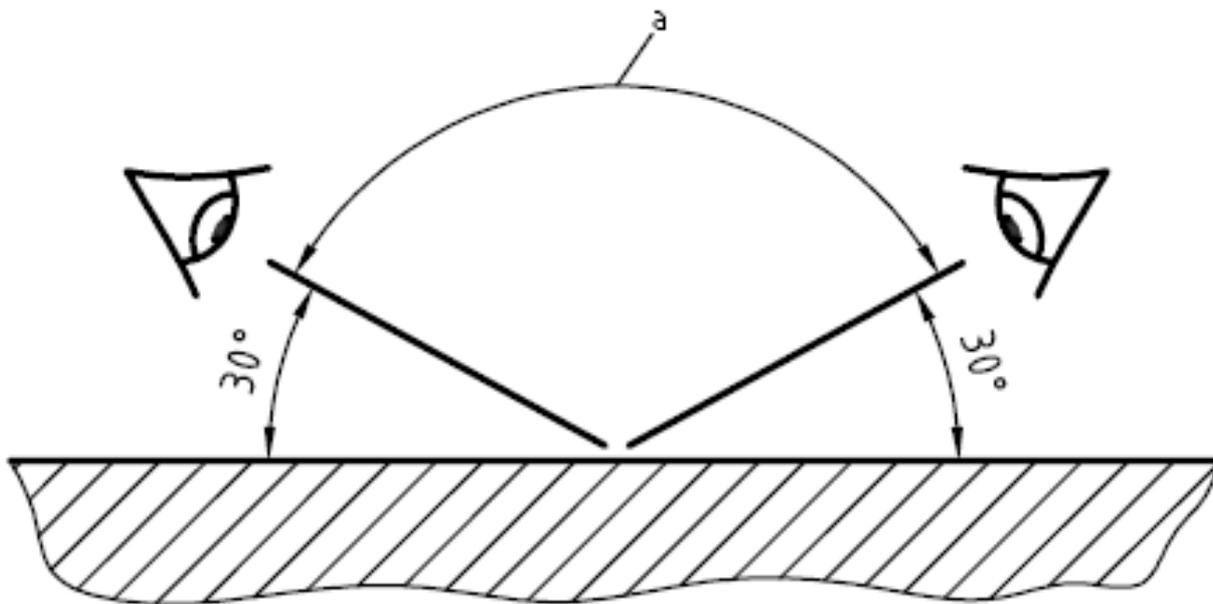
👉 Guide pour les CND ultérieurs.

## Contrôle visuel (VT) : ISO 17637

Eclairage : mini 350 lx ; recommandé 500 lx

Approche progressive, puis moins de 600 mm

Etendue : généralement 100%



### Calibre simple pour soudure

a) mesurage des cordons d'angle de 3 mm à 15 mm d'épaisseur. La partie courbe du calibre est disposée le long des faces fondues de telle manière qu'elle se trouve en contact en trois points avec la pièce et le cordon d'angle.



b) mesurage de la surépaisseur des cordons bout à bout à l'aide de la partie rectiligne.

Du fait que le calibre est réalisé en aluminium relativement doux, il subit une usure rapide.

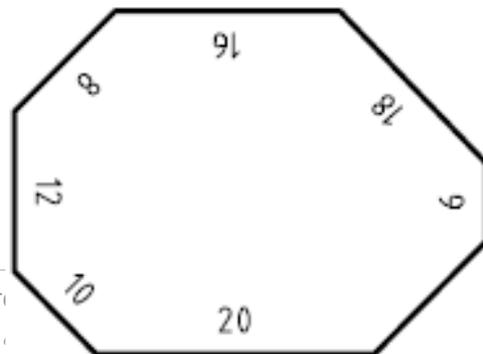
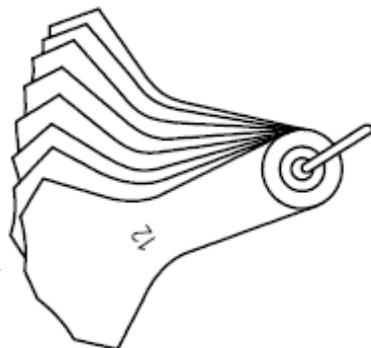


### Calibre pour soudures avec pied à coulisse

Mesurage des cordons d'angle; la surépaisseur des cordons bout à bout peut également être également déterminée. Les pieds du calibre ont une forme telle que les angles inclus de  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$  et  $90^\circ$  des soudures bout à bout en V peuvent être mesurés. Des écarts faibles par rapport à ces valeurs conduisent à des erreurs significatives.

### Collection de calibres pour soudures

Mesurage des cordons d'angle de 3 mm à 12 mm d'épaisseur; de 3 mm à 7 mm, graduation de 0,5 mm en 0,5 mm; au-dessus, 8 mm, 10 mm et 12 mm. Le calibre mesure en utilisant le principe du contact en trois points.



### Calibre artisanal pour soudure

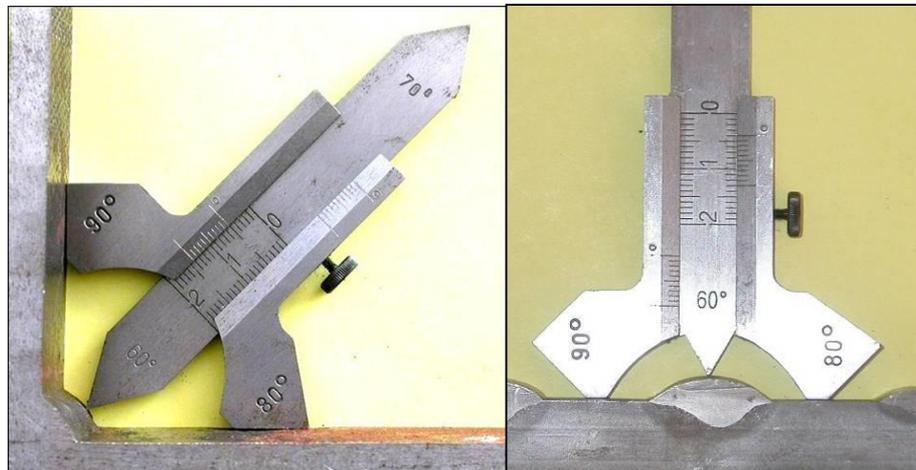
Mesurage de sept valeurs de gorge de cordons d'angle avec un angle inclus de  $90^\circ$ .

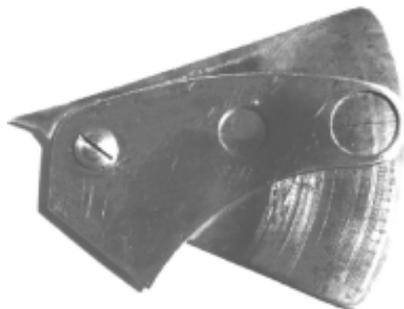
# Méthodes de surface

## Contrôle Dimensionnel

- ▶ Alignement
- ▶ Continuité
- ▶ Hauteur de Gorge
- ▶ Angle de chanfrein
- ▶ Surépaisseur
- ▶ Sous-épaisseur
- ▶ Profondeur de caniveau

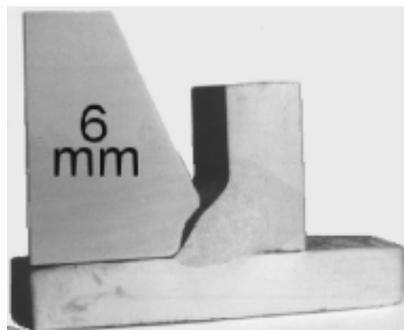
Utilisation de calibre, mètre, rapporteur, cale d'épaisseur, échantillons visio-tactiles





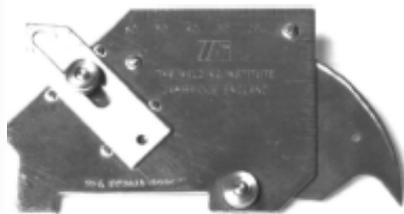
### Calibre pour soudure à trois échelles

Mesurage de la gorge et du côté du cordon. Peut également mesurer la surépaisseur des cordons bout à bout. Facile d'utilisation. Convient également pour les cordons d'angle asymétriques.



### Calibre pour la vérification du profil des cordons d'angle

Vérification du profil pour une forme et une dimension de cordon d'angle. Ce type de calibre nécessite un modèle pour chaque dimension de cordon d'angle.



### Calibre universel

Mesurage de l'angle du chanfrein, du côté des cordons d'angle, des caniveaux, des désalignements, de la gorge et de la surépaisseur.



### Calibre universel pour soudures

Fonctions de mesure:  
— cordons d'angle: forme et dimensions;  
— soudures bout à bout: défaut d'alignement des plaques, préparation de joint (largeur d'angle), surépaisseur de la soudure, largeur de la soudure, caniveaux.



### Calibre d'écartement

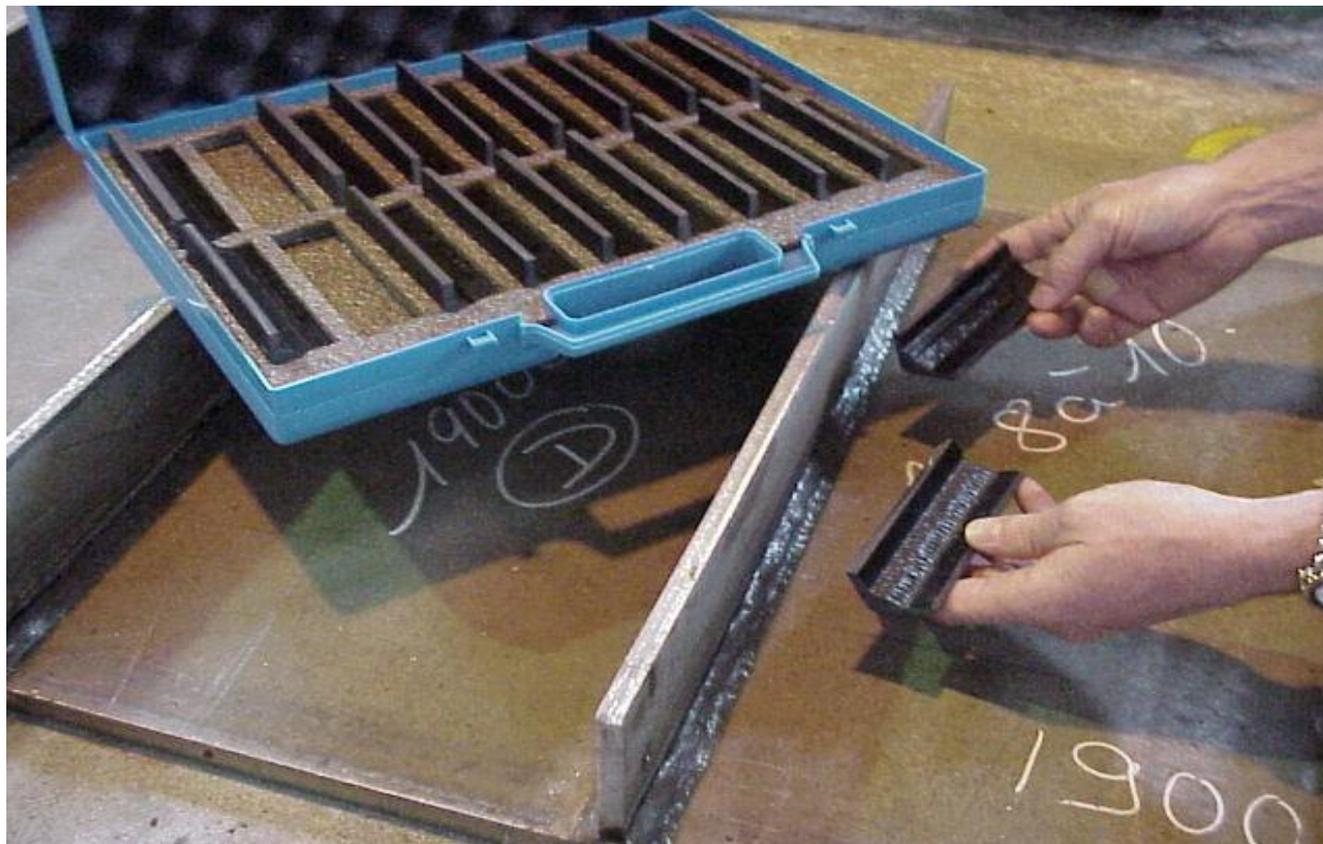
Mesurage de la largeur des écartements.



### Calibre à griffe pour défaut d'alignement

Mesurage du défaut d'alignement de la préparation des soudures bout à bout sur plaques et sur tubes.

# Echantillons visio-tactiles de comparaison





# Contrôle non destructif - Généralités

## Pourquoi mettre en œuvre un contrôle non destructif :

### *L'origine ...*

- Démarche qualité
- Recherche du « zéro défaut »
- Recherche de la sécurité & de la fiabilité
- Exigences envers les fournisseurs



### **Contrôler sans détruire les pièces**

- En fabrication
- En construction
- En maintenance
  - Maintenance préventive
  - Maintenance corrective ou curative

# Contrôle non destructif - Généralités

## Le principe est de :

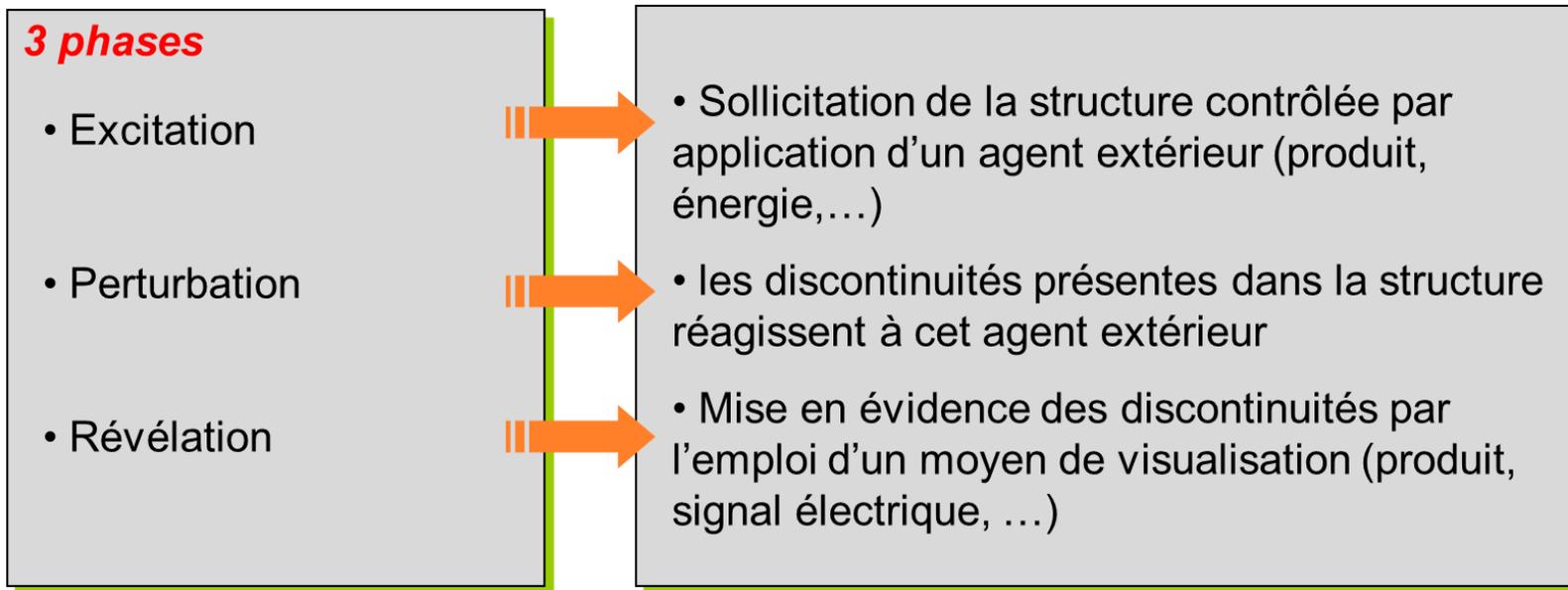
Mettre en évidence la présence de discontinuités (défauts) dans la zone soudée en utilisant l'influence de celles-ci sur une propriété physique



- Dimension
- Conductivité
- Impédance
- Densité
- Vitesse
- ...

# Contrôle non destructif - Généralités

## La mise en œuvre d'un procédé de contrôle se pratique en différentes phases :



# Contrôle non destructif – Généralités – Critères de choix

**En fonction de la localisation et de la typologie des défauts recherchés, il sera mis en œuvre soit :**

- ▶ Des méthodes surfaciques
- ▶ Des méthodes volumiques
- ▶ Des méthodes avec un accès direct ou méthodes globales
- ▶ Plusieurs méthodes associées

**Le choix de la méthode dépendra également de :**

- ▶ Type d'assemblage (bout à bout, angle, recouvrement ou non)
- ▶ Épaisseurs et caractéristiques dimensionnelles de la soudure
- ▶ Nature du matériau à contrôler
- ▶ Accessibilité du joint examiné, en cours ou en fin de fabrication
- ▶ Objet du contrôle défini à partir des conditions de services de la structure à contrôler

# Contrôle non destructif – Généralités – Critères de choix

## Attention chaque méthode révèle la présence d'une indication du défaut :

- ▶ Cette indication est une image du défaut
  - ▶ Elle ne représente pas la vraie grandeur du défaut (plus grande ou plus petite)
  - ▶ Elle peut être une image déformée du défaut (projection, parfois superposition de plusieurs indications)

# Contrôle non destructif - Généralités

## Méthodes surfaciques applicables aux assemblages soudés :

<i>Méthode</i>	<i>Excitation</i>	<i>Révélation</i>
<b><i>Examen visuel</i></b>	Rayonnement visible. Source de lumière blanche ou monochromatique.	Œil et aides optiques telles que loupe, binoculaire, microscope.
<b><i>Ressuage</i></b>	Liquide d'imprégnation conjugué à un rayonnement visible ou ultraviolet pour l'observation.	Fines particules absorbant le produit d'imprégnation et œil avec aides optiques telles que loupe ou endoscope.
<b><i>Magnétoscopie</i></b>	Champ magnétique engendré par une onde sinusoïdale basse ou moyenne fréquence.	Fines particules magnétiques piégées par le champ perturbé et œil avec aides optiques telles que loupe ou endoscope.
<b><i>Courant de Foucault/MFL/ACFM</i></b>	Champ magnétique engendré par une onde sinusoïdale basse ou moyenne fréquence.	Bobine ou capteur dont l'impédance varie en fonction du champ perturbé et chaîne de mesure.

# Contrôle non destructif - Généralités

## Méthodes volumiques applicables aux assemblages soudés :

<i>Méthode</i>	<i>Excitation</i>	<i>Révélation</i>
<b><i>Ultrasons</i></b>	Vibration mécanique de fréquence élevée engendrée par un transducteur de type piézoélectrique.	Transducteur convertissant l'énergie mécanique perturbée en signal électrique et chaîne de mesure.
<b><i>Rayonnements ionisants</i></b>	Rayonnement électromagnétique de type X, $\gamma$ , $\alpha$ .	Film ou système de conversion directe ou indirecte du rayonnement en signal électrique et œil ou moniteur.

# Contrôle non destructif - Généralités

## Méthodes globales applicables aux assemblages soudés :

<i>Méthode</i>	<i>Excitation</i>	<i>Révélation</i>
<b><i>Émission acoustique</i></b>	Application d'une contrainte mécanique ou phénomène physique provoquant un bruit dans la gamme de fréquence considérée.	Transducteur convertissant l'énergie mécanique en signal électrique et chaîne de mesure.
<b><i>Étanchéité</i></b>	Mise sous vide ou sous pression	Gaz traceur (air, amoniac, Hélium...)

# Méthodes de surface

## Contrôle visuel

- ▶ Applicable quel que soit le type d'assemblage et de matériau
- ▶ Aspect (subjectif)

- ▶ Régularité, présence de discontinuité

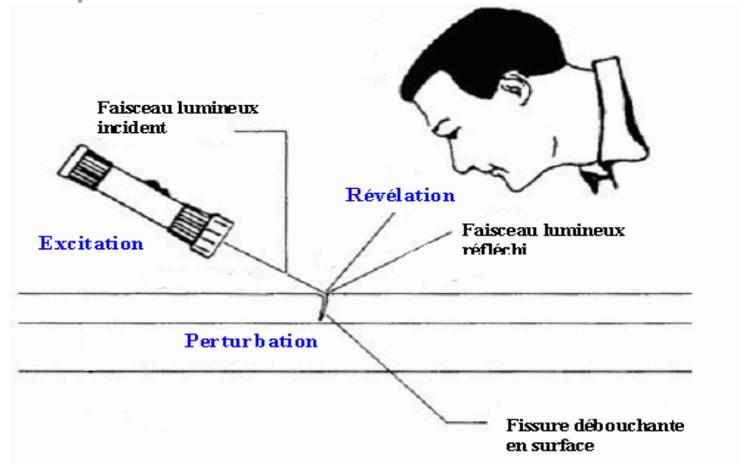
- ▶ Principe :
 

<b>Excitation</b>		→	<b>Lumière incidente</b>
<b>Perturbation</b>		→	<b>Défaut de la surface</b>
<b>Révélation</b>		→	<b>Lumière réfléchi</b>

- ▶ Ce contrôle requiert une expérience pratique importante des contrôleurs, avec une connaissance nécessaire des procédés de soudage.
- ▶ Tout premier stade de contrôle, le visuel permet de mieux interpréter les méthodes non destructives suivantes, il est une aide primordiale à l'interprétation.
- ▶ Dans l'idéal, le soudeur devrait pratiquer son propre autocontrôle visuel.

# Méthodes de surface

- ▶ Le contrôle visuel s'effectue sans interruption du parcours optique entre l'œil de l'opérateur et la zone contrôlée, il peut être effectué soit sans aide, soit avec l'aide de miroir ou loupe.



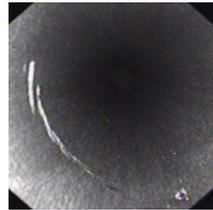
## outils éventuels



- ▶ Il s'effectue lorsque la distance entre l'œil et la surface à contrôler n'excède pas 600 mm et sous un angle supérieur ou égal à  $30^\circ$ , avec un éclairage suffisant de la pièce à contrôler (500 lux pour un contrôle local).

# Méthodes de surface

- ▶ Ce contrôle peut être effectué de manière indirecte, c'est-à-dire avec interruption du parcours optique entre l'œil de l'opérateur et la zone contrôlée, par l'intermédiaire de système vidéo.



**Rayure et trou sur  
un tube de générateur  
de vapeur**



- ▶ Le contrôle visuel indirect couvre l'utilisation de photographies, de systèmes vidéos, de systèmes automatisés et de robot.

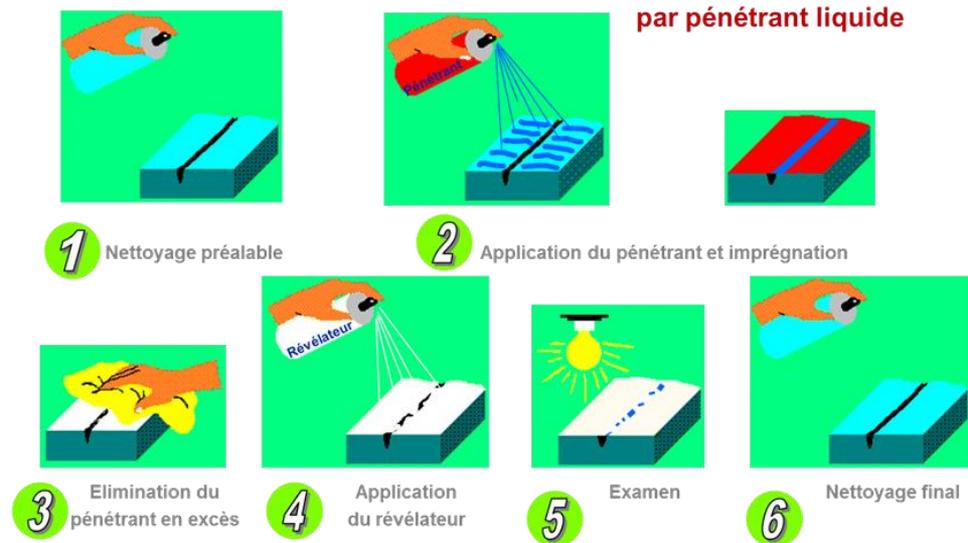


# Méthodes de surface

- ▶ La méthode consiste à appliquer un pénétrant sur une surface à contrôler après un nettoyage approfondi de celle-ci.
- ▶ Ce pénétrant entre à l'intérieur des défauts débouchant après un temps d'attente.
- ▶ Après élimination par lavage de l'excès de pénétrant et séchage, on recouvre la surface d'une fine couche de révélateur.
- ▶ Le révélateur a la propriété de faire ressortir le pénétrant à l'extérieur de la discontinuité en agissant comme un buvard, et révèle une indication du défaut.
- ▶ La méthode peut être appliquée à une grande variété de matériaux à condition qu'ils ne soient pas poreux.
- ▶ Seuls les défauts débouchant peuvent être mis en évidence, mais leur orientation en surface ne perturbe pas leur détection. Les indications seront dimensionnées en surface apparente, mais pas en profondeur
- ▶ Les surfaces doivent être propres, exemptes de dépôt ou revêtement (peinture etc.).

# Méthodes de surface

## Schéma des principales séquences d'un contrôle



## Les produits mis en œuvre peuvent être de 2 sortes :

- ▶ Ressuage dit coloré (le plus courant en soudage).
- ▶ Ressuage fluorescent (pour la détection de défauts très fins sur des surfaces usinées, mal adapté au soudage).

VT, PT, MT :  
Radiomètre/luxmètre



PT : Plaquettes plastique  
Sensibilité des produits



# Méthodes de surface

## Contrôle par magnétoscopie

- ▶ Méthode qui permet de déceler des discontinuités débouchantes ou sous jacentes à la surface sur des pièces ferromagnétiques à l'aide d'un champ magnétique et d'un révélateur magnétique (humide ou sec), coloré ou fluorescent.



Applicable sur assemblages bout à bout et d'angle.

Attention, les matériaux doivent être ferromagnétiques.

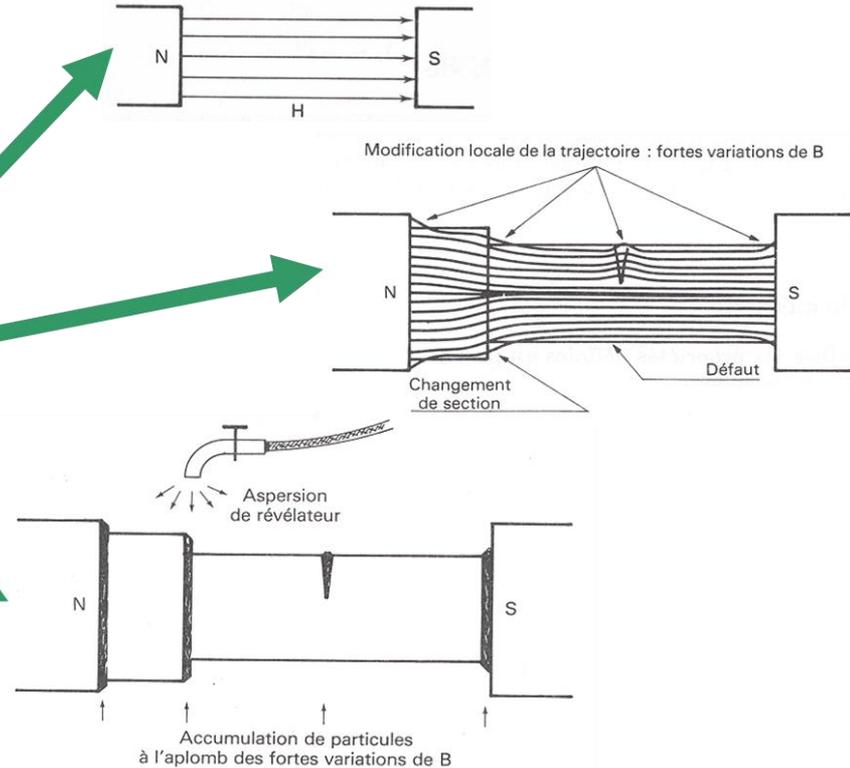
L'orientation du défaut par rapport à la direction du contrôle a une incidence sur la sensibilité de détection.

# Méthodes de surface

## Principe

L'essai de magnétoscopie peut être résumé en 3 phases :

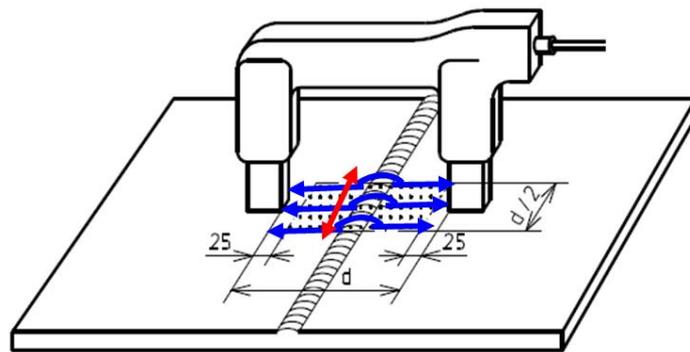
- Phase 1 : Excitation de la pièce
- Phase 2 : Perturbation des lignes d'induction
- Phase 3 : La révélation



# Méthodes de surface

## Différents types d'outil applicable aux assemblages soudés :

- ▶ Par passage de flux magnétique (Procédé le plus courant)
- ▶ Electro-aimant portatif.



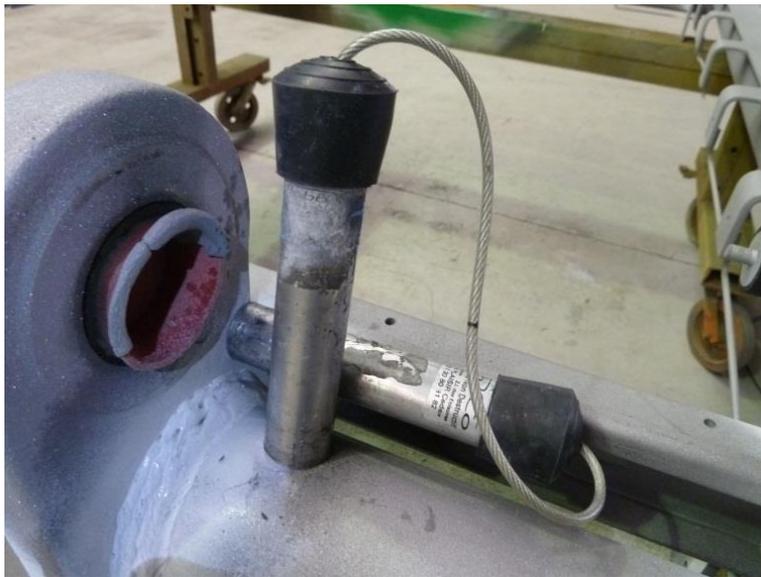
↔ Direction du champ magnétique

↔ Direction des indications décelées

# Méthodes de surface

## ▶ Aimant permanent.

Utilisation du champ magnétique entre les 2 pôles Nord et Sud de l'aimant



# MT : Aimant permanent, croix de Berthold, projecteur UV



# Méthodes de surface

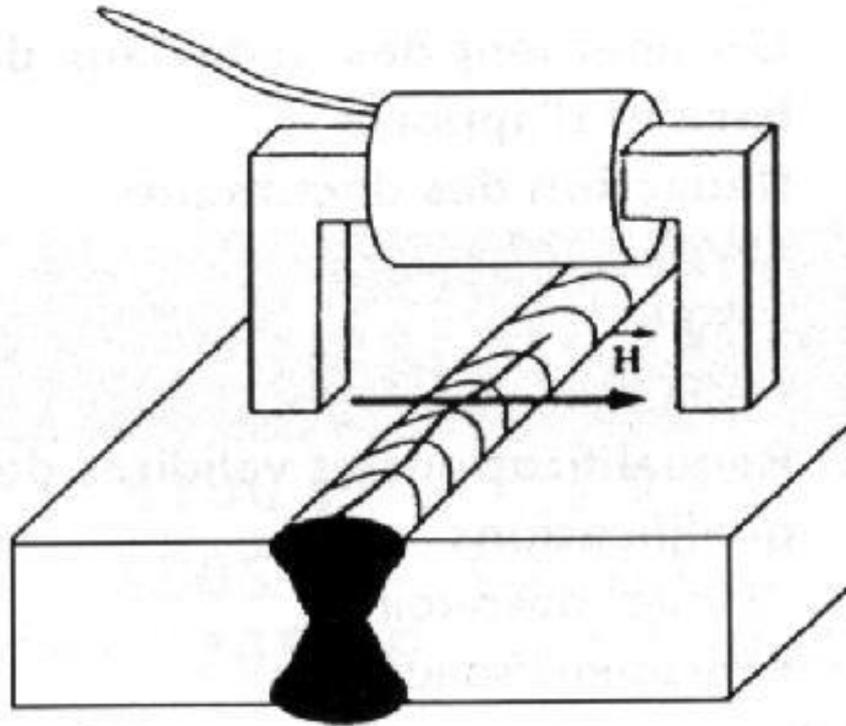
**Comme pour le ressuage les produits mis en œuvre peuvent être de 2 sortes :**

- ▶ Magnétoscopie colorée (le plus courant en soudage). Facile de mise en œuvre sur chantier



- ▶ Magnétoscopie fluorescente (pour la détection de défauts très fins sur des surfaces usinées, mal adapté au soudage).

# MT par passage de champ



## Témoign d'aimantation



## Témoin d'aimantation



## MT par passage de courant



# PMUC : Produits et Matériaux Utilisés en Centrale (nucléaire)

Sans  
Halogène  
(Cl, F, I, Br)



Stage : Technologie du soudage

# Méthodes de surface

## Contrôle par Courants de Foucault

- ▶ Les courants de Foucault sont des courants induits créés dans une masse conductrice, soit par la variation au cours du temps d'un champ magnétique extérieur traversant ce milieu (le flux du champ à travers le milieu), soit par un déplacement de cette masse dans un champ magnétique.

- ▶ Principe :



Applicable sur assemblages bout à bout et d'angle, sous réserve d'avoir des sondes adaptées (inducteur).

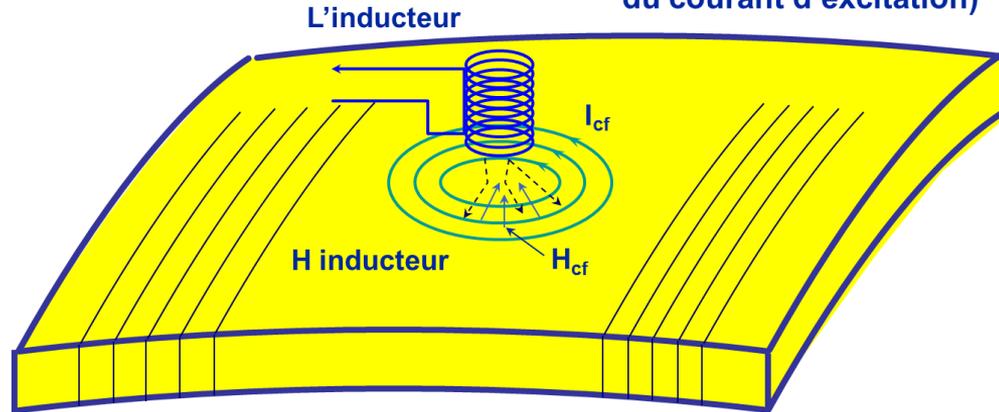
Attention, les matériaux doivent être électriquement conducteur.

L'orientation du défaut par rapport à la direction du contrôle a une incidence sur la sensibilité de détection.

# Méthodes de surface

**1. L'EXCITATION**  
(un courant électrique)

**3. LA REVELATION**  
(un courant récupéré différent  
du courant d'excitation)



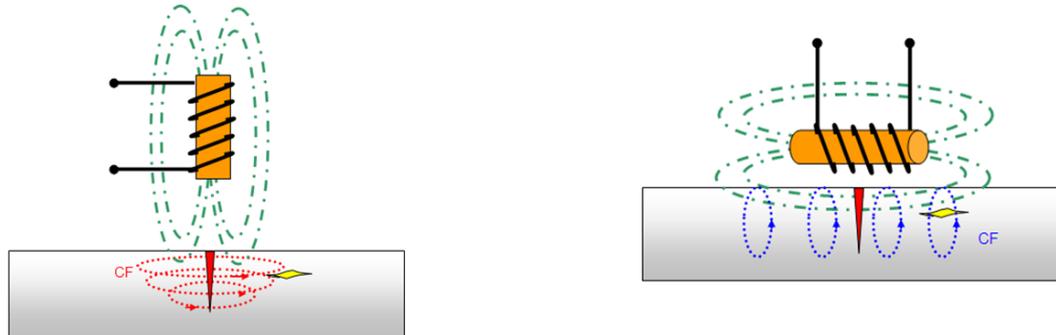
**2. LA PERTURBATION**  
(un courant de Foucault perturbé par un défaut)

# Méthodes de surface

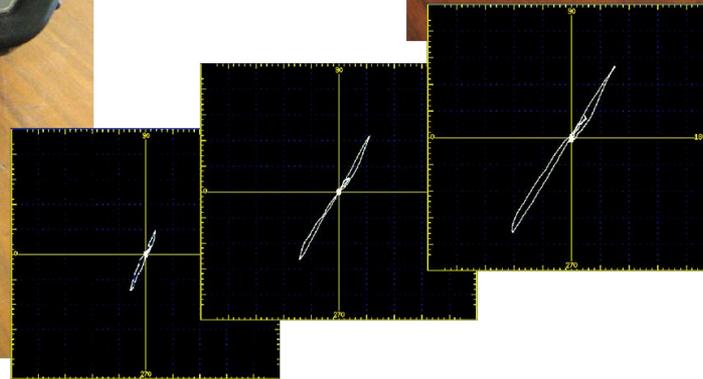
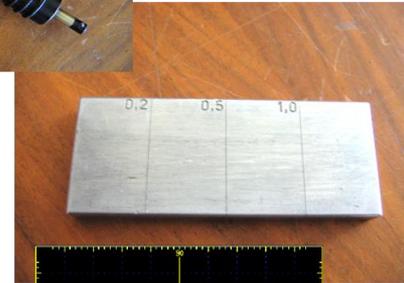
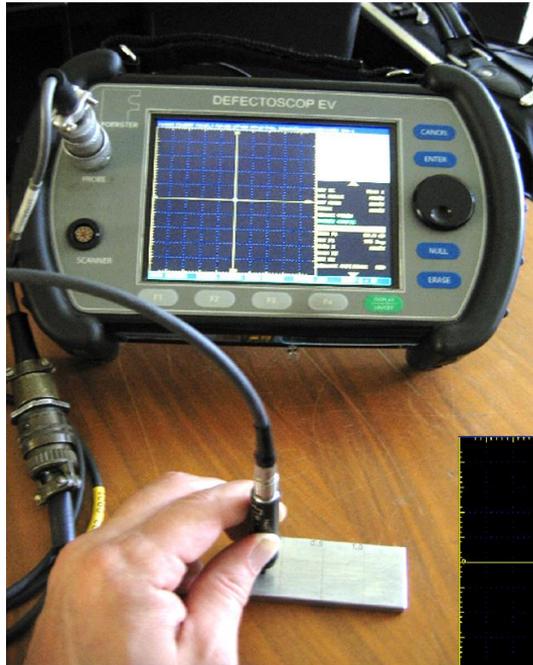
- ▶ Les défauts dans les pièces contrôlées sont détectés grâce aux variations d'impédance de la (ou des) bobine et visualisés dans un plan complexe



*Pour qu'une discontinuité soit détectable, il faut qu'elle perturbe la répartition des courants de Foucault, ceci dépend notamment de son orientation !*



# Méthodes de surface



# Méthodes de surface

- ▶ Le choix de la fréquence de travail est déterminant pour la discrimination des indications
- ▶ Les défauts doivent être débouchant ou proches de la surface. La profondeur de détection dépendra du matériau et de la fréquence utilisée
- ▶ La phase et l'amplitude des indications varient en fonction de la profondeur et de leur volume
- ▶ Obligation d'avoir des échantillons de référence pour la plupart des applications afin de calibrer les outils en début d'examen afin de pouvoir interpréter les variations d'impédance mesurées

# Méthodes de surface

## ▶ Applications :

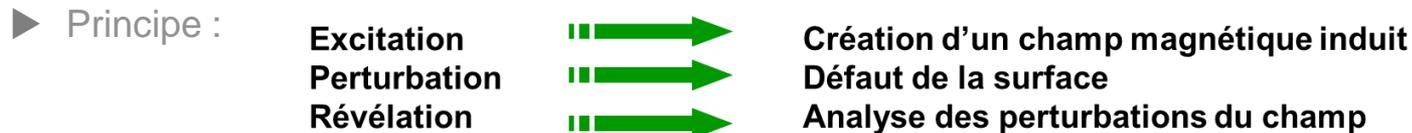
- ▶ Recherche de discontinuité plane, fissure, manque de fusion
- ▶ Mesure d'épaisseur de tubes, de zones corrodées
- ▶ Mesure d'épaisseur de couche, tri de métaux (multicouche)
- ▶ Contrôle de profondeur de trempe, cémentation, traitement thermique

# Méthodes de surface

## Contrôle par ACFM

### Alternating Current Field Measurement (mesure du champ magnétique induit produit par un courant alternatif)

- ▶ La technique ACFM utilise les variations d'un champ magnétique induit par un courant alternatif dans un matériau conducteur pour détecter les fissures de fatigue.



Applicable sur assemblages bout à bout et d'angle, sous réserve d'avoir des sondes adaptées, ce procédé peut être mis en œuvre sur des surfaces peintes.

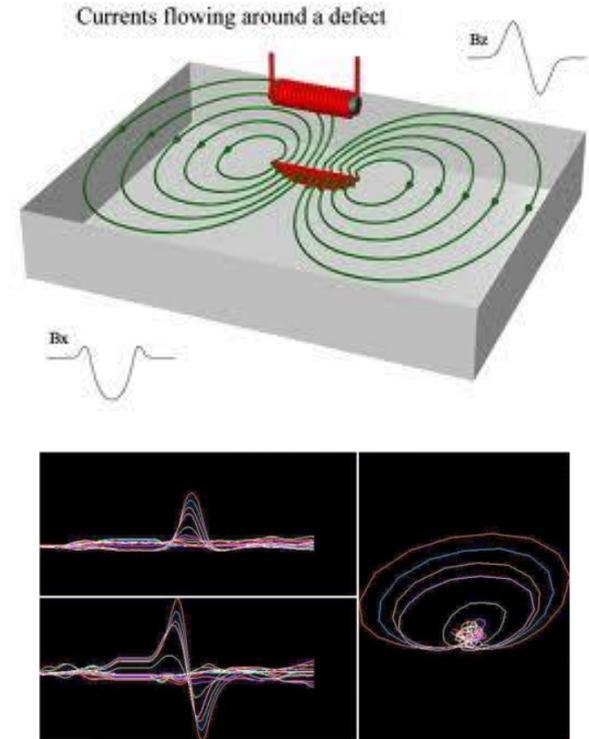
Attention, les matériaux doivent être ferromagnétiques.

Pour être détecté, la fissure doit déboucher en surface, et présenter des dimensions minimales d'environ 10 mm de long, et 5 mm de profondeur.

Destiné exclusivement à la recherche de fissure de fatigue.

# Méthodes de surface

- ▶ La technique ACFM utilise :
  - ▶ un calculateur électronique qui injecte un courant alternatif à la surface du matériau à contrôler, par l'intermédiaire d'une sonde adaptée au milieu d'intervention.
  - ▶ Le courant traverse le matériau et génère un champ magnétique induit, perpendiculaire au sens du courant.
  - ▶ En présence d'un défaut, le champ magnétique induit sera perturbé. La sonde mesure les perturbations aux extrémités du défaut selon deux directions X et Z.



# Méthodes de surface

- ▶ Développée depuis 1992 pour l'offshore, pour rechercher à l'origine des défauts de soudure sous revêtement
- ▶ La présence d'un revêtement est prise en compte par la méthode
- ▶ Principe intermédiaire entre magnétoscopie et courants de Foucault
- ▶ Destiné exclusivement à la recherche de fissure de fatigue, cela en fait un moyen de contrôle périodique pour le suivi en service d'installations ou structures chargées de manière cyclique



# Méthodes de surface



## Méthodes de surface

# Inspection périodiques de grues portuaires par ACFM



# Méthodes Volumiques

## Contrôle par Ultrasons

- ▶ Examen Non Destructif qui permet de détecter des discontinuités surfaciques et internes en générant des vibrations mécaniques de haute fréquence (ultrasons) dans la pièce et à observer les échos réfléchis.



Applicable sur assemblages bout à bout et d'angle.

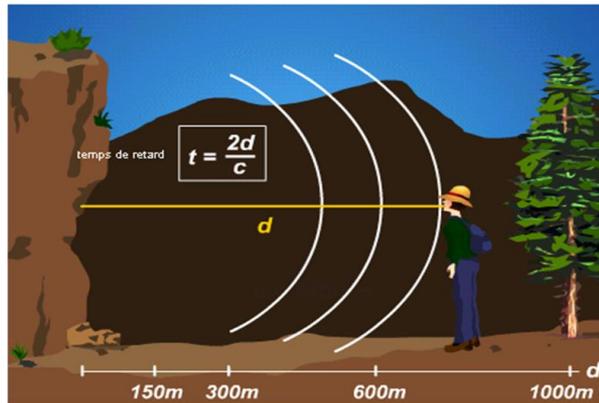
Les assemblages doivent être à pleine pénétration. Des techniques sont en cours de développement pour travailler sur des pénétrations partielles.

Détection de discontinuité dans toute l'épaisseur, les défauts à caractère « plan » (manque de fusion, fissure etc...) sont plus facilement mis en évidence s'ils sont orientés perpendiculairement au parcours des ondes ultrasonores

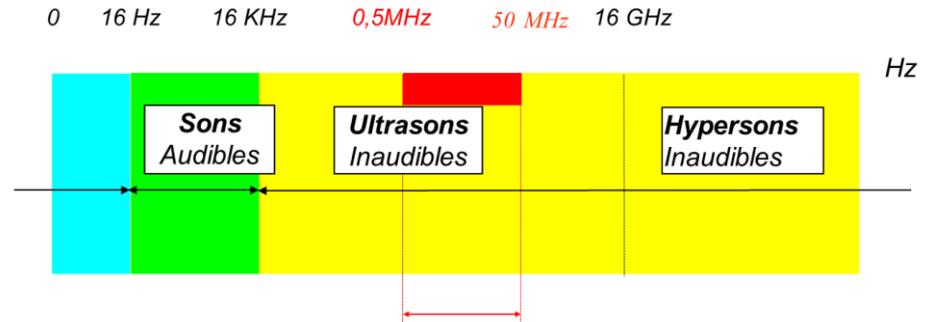
La méthode est sensible à la structure du matériau (structure austénitique limite la mise en œuvre aux épaisseurs > 6 à 8 mm)

# Méthodes Volumiques

- ▶ L'écho est un phénomène de réflexion sonore.
  - ▶ Le son émis par l'observateur se propage à 340m/s dans l'air.
  - ▶ Il est réfléchi sur la falaise.
  - ▶ L'écho parvient au niveau de l'observateur avec un retard qui dépend de la vitesse de propagation du son (c) et de la distance(d) entre « l'émetteur » et le « réflecteur ».



**Le contrôle par ultrasons repose sur le même principe physique**



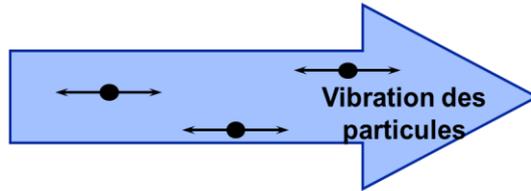
**DOMAINE D'UTILISATION DES U.S. POUR LE C.N.D**  
**En pratique 0,5 à 10 MHz**

# Méthodes Volumiques

## Les principaux modes de propagations des ondes sont de 2 sortes :

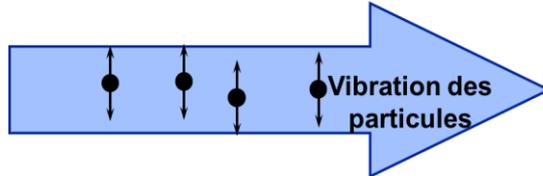
### Ondes longitudinales

Les ondes longitudinales (OL) se propagent dans les solides et les liquides



### Ondes transversales

Les ondes transversales (OT) ne se propagent que dans les solides

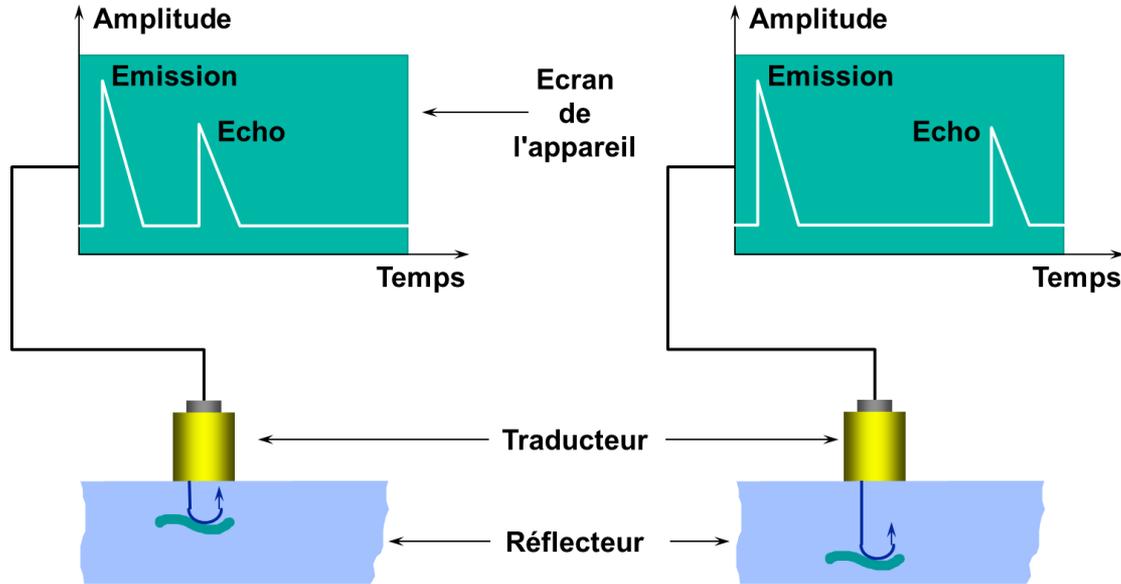


Avec différentes vitesses suivant la nature des matériaux :

Matériau	VL (m/s)	VT (m/s)
<i>Eau</i>	1480	-
Huile légère	1340	-
Cuivre (recuit)	4750	2300
<i>Acier (1 % C)</i>	5940	3220
Aluminium	6300	3100
Altuglass	2680	1100

# Méthodes Volumiques

- ▶ Contrôle échographique (visualisation d'une indication)
- ▶ Ondes longitudinales (mesure d'épaisseur)



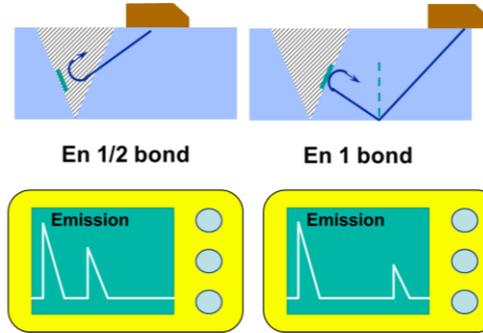
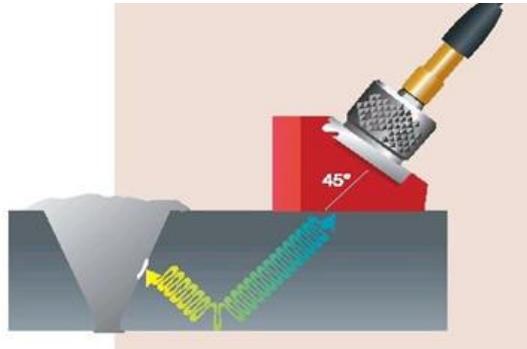
L'écart entre l'écho d'émission et l'écho de retour correspond au temps nécessaire pour que l'onde parcourt la distance aller et retour du palpeur (transducteur) au défaut.

Cela permet de connaître la profondeur à laquelle est situé le défaut dans l'épaisseur

Si l'onde ne rencontre aucun obstacle (autre que la surface opposée) on mesure l'épaisseur du matériau

# Méthodes Volumiques

## ▶ Contrôle par Ondes Transversales (Contrôle des soudures)



L'angle donné par le palpeur est fixe  
Un mouvement de balayage en X et Y du traducteur permet de déplacer l'onde le long de la soudure

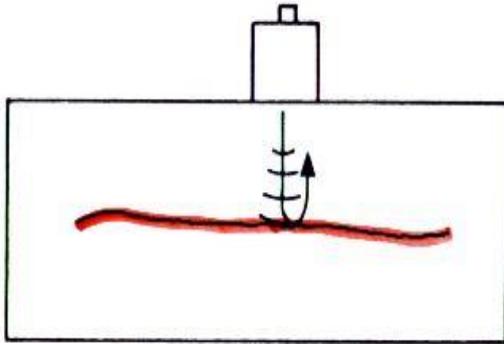
Il s'agit de rechercher les signaux d'échos réfléchis par les discontinuités rencontrées au travers de l'épaisseur. L'orientation du défaut perpendiculairement aux ondes US est nécessaire pour une bonne réflexion de l'onde donc de détection du défaut.

Il faudra donc utiliser différents angles et directions de contrôle (accès sur chaque face) pour s'assurer d'avoir balayer la totalité des orientations de défaut, en fonction des types d'assemblage (pour un contrôle à 100%)

Pour assurer la transmission des ondes du palpeur à la pièce, il est nécessaire de passer par un milieu de couplage (couplant = eau, huile, gel de couplage)

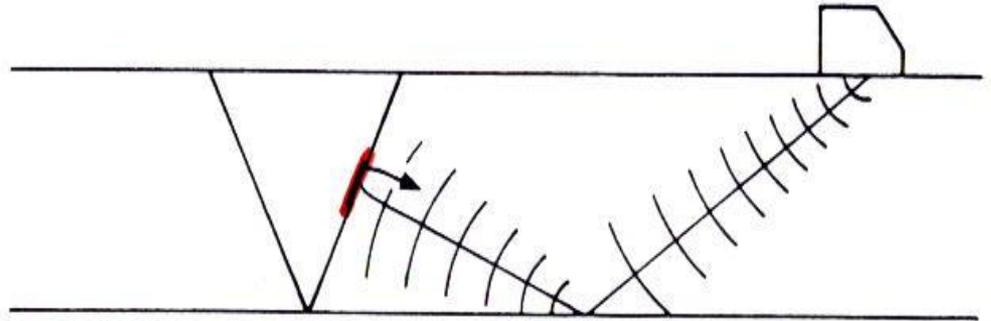
Les discontinuités à proximité des surfaces peuvent ne pas être détecté, il est nécessaire de croiser avec une méthode surfacique

# Ultrasons



Ondes

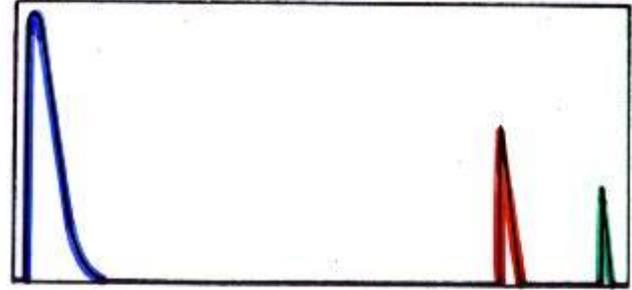
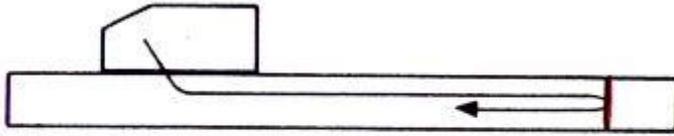
longitudinales



Ondes

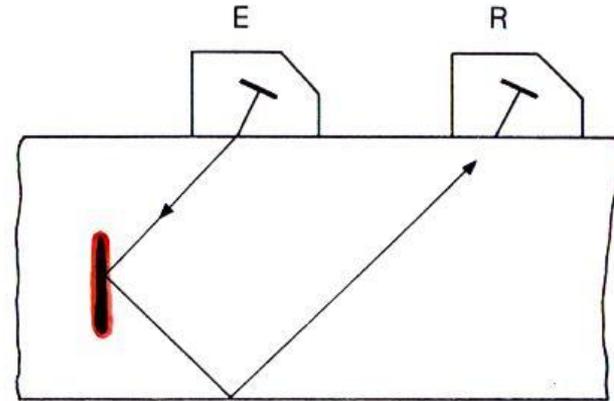
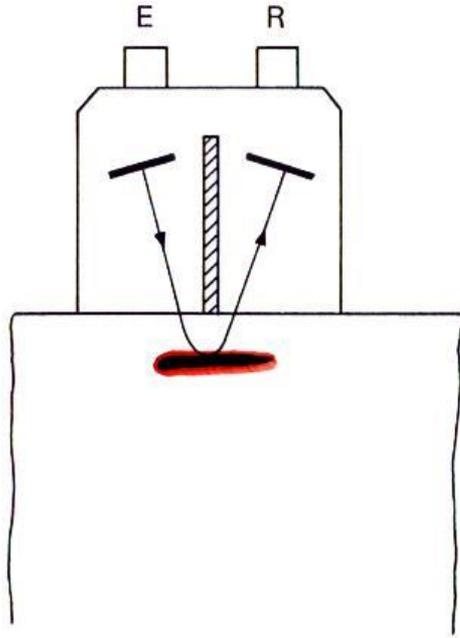
transversales

# Ultrasons



## Ondes de surface (Lamb)

# Ultrasons



## Transducteur émetteur/récepteur

# Méthodes Volumiques

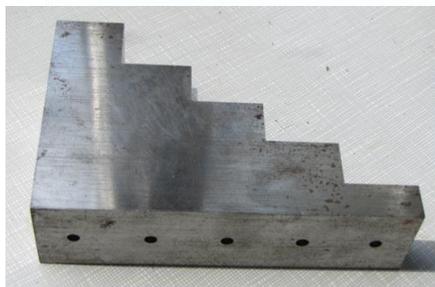
- ▶ Etalonnage ou calibrage nécessaire pour caler les paramètres à mettre en œuvre, utilisation de cales dédiées diverses :



Bloc n°1 selon ISO 2400



Bloc n°2 selon NF EN ISO 7963

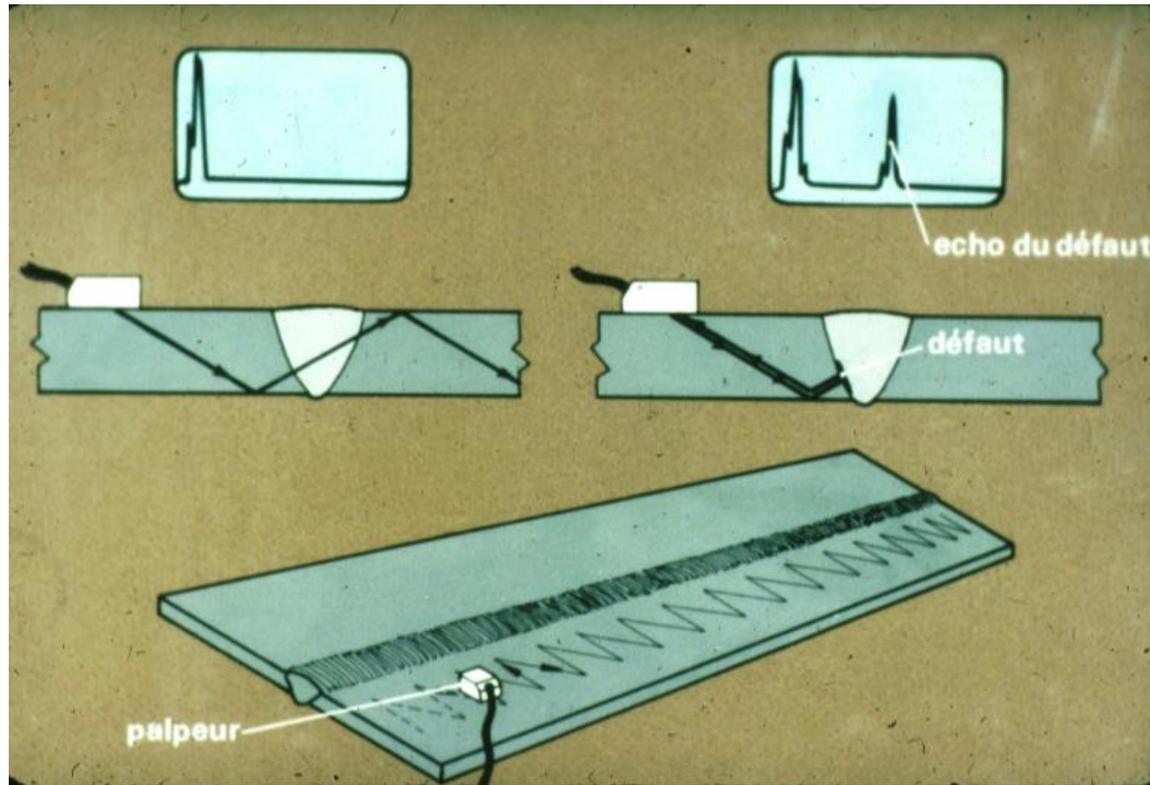


Cale à gradins avec trous à fond plat (TFP)



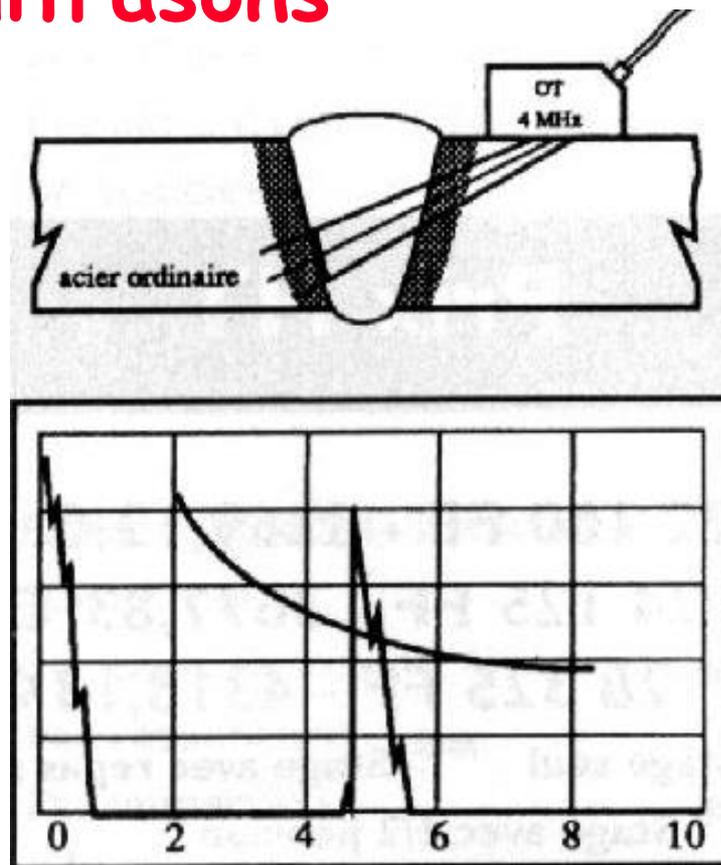
Cale IS avec trou percés latéralement

# Protocole ultrasons



**Source PSA**

# Protocole ultrasons

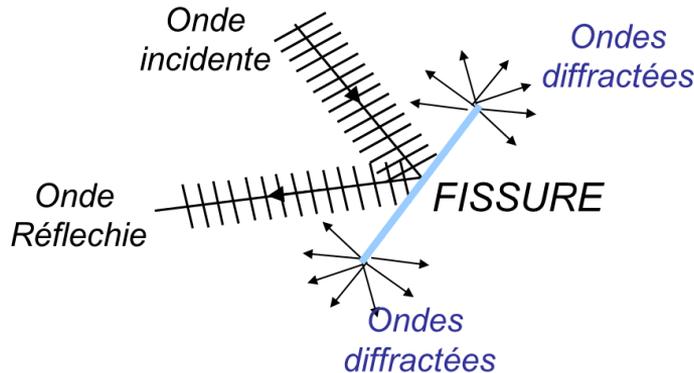


# Méthodes Volumiques

## Variante au procédé UT classique = Procédé T.O.F.D.

«Time Of Flight Diffraction » Technique de diffraction du temps de vol utilisée comme méthode de détection et de dimensionnement des discontinuités»

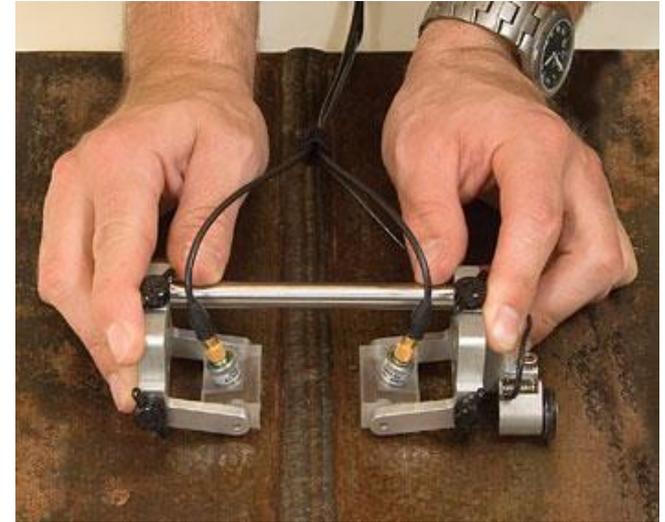
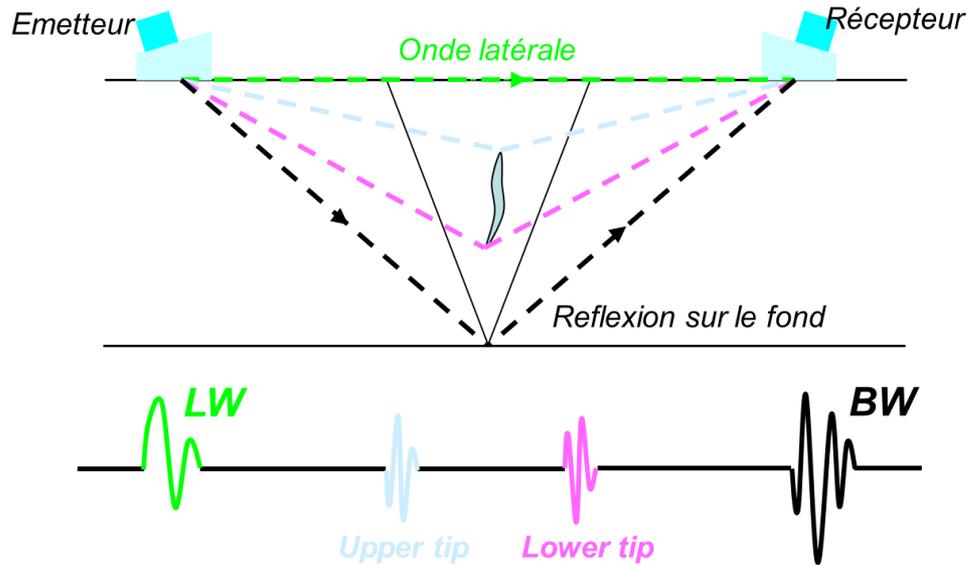
- ▶ Cette méthode permet de récupérer les ondes diffractées au extrémités d'un défaut



- ▶ Quel que soit leur direction
- ▶ Même de faible énergie
- ▶ Indépendamment de l'angle d'incidence de l'onde qui les génère

# Méthodes Volumiques

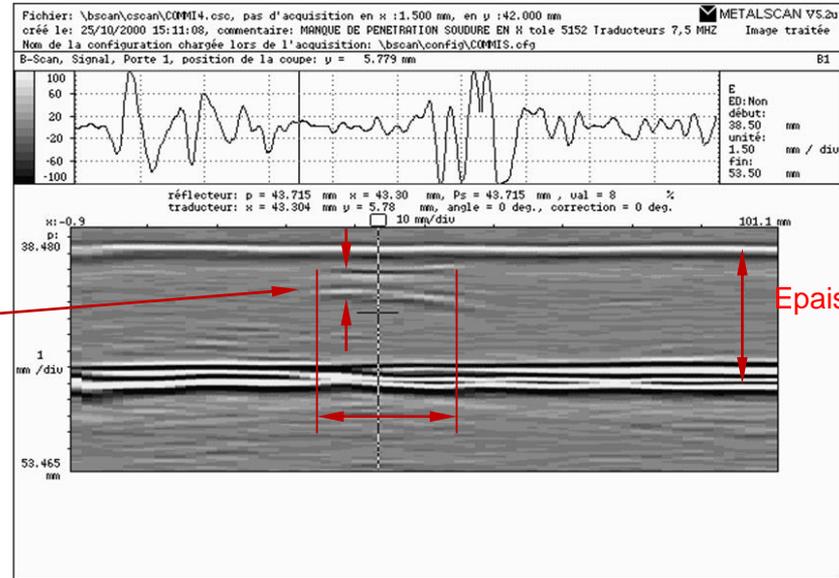
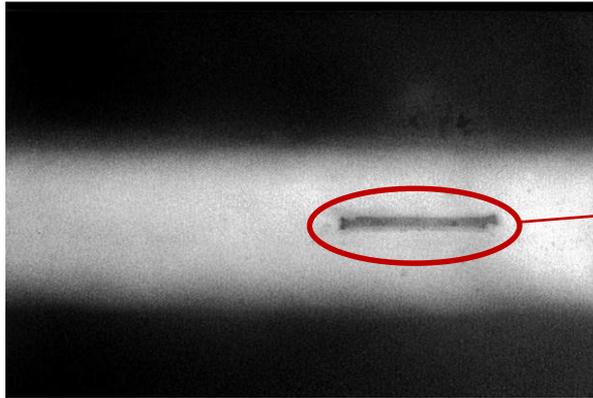
- ▶ Mise en œuvre d'un palpeur émetteur et d'un palpeur récepteur
- ▶ Emission d'un faisceau d'onde au travers d'une tranche d'épaisseur



# Méthodes Volumiques

- ▶ Le traitement informatique des informations permet de reconstituer une image correspondant à une coupe verticale de la soudure (dans le sens longitudinal)
- ▶ Le dimensionnement et positionnement dans l'épaisseur devient possible

## Cliché radiographique



# Méthodes Volumiques

- ▶ Aide à l'interprétation des indications de défauts
- ▶ Adaptée à la recherche de défauts plans et volumique en MF, ZL et ZAT  
Détermination précise de la position transversale du défaut, calcul précis de la taille, hauteur et longueur
- ▶ Traçabilité des contrôles effectués par l'enregistrement des scans
- ▶ Travail par une seule face d'accès, gain de temps d'exécution du contrôle
- ▶ Mise en œuvre sur des installations en service possible
- ▶ Méthode combinant les techniques des UT manuels avec la formation d'une image concurrençant les techniques radiographiques
- ▶ Méthode mécanisable

# Méthodes Volumiques

- ▶ Applicable sur des épaisseurs comprises entre 6 et 300 mm
- ▶ Attention présence de zones mortes en surface et en fond (sur une bande d'épaisseur de 2 à 3 mm sur chaque face, il est nécessaire de coupler ces méthodes avec une méthode surfacique)
- ▶ Une formation complémentaire des opérateurs est nécessaire
- ▶ L'équipement mis en œuvre est spécifique
- ▶ La méthode est fortement influencé par la structure du matériau et des perturbations peuvent apparaitre sur les acier inoxydables austénitiques

# Méthodes Volumiques

## Variante au procédé UT classique = UT Multiéléments (Phased Array)

Le transducteur est composé de plusieurs transducteurs séparés dont la gestion informatisée permet l'obtention de certaines configurations de faisceau acoustique

- ▶ Plusieurs petits éléments piézoélectriques (16, 32, 64 ...)
- ▶ Eléments pilotés électroniquement et indépendamment les uns des autres en Émission / Réception
- ▶ Application de lois de retard à chaque voie (Émission / Réception)

Un transducteur conventionnel est défini par son ouverture, sa focalisation, son angle de réfraction  
Sur un transducteur multiéléments l'ensemble de ces paramètres peuvent être modifiés électroniquement

- ▶ Balayage linéaire



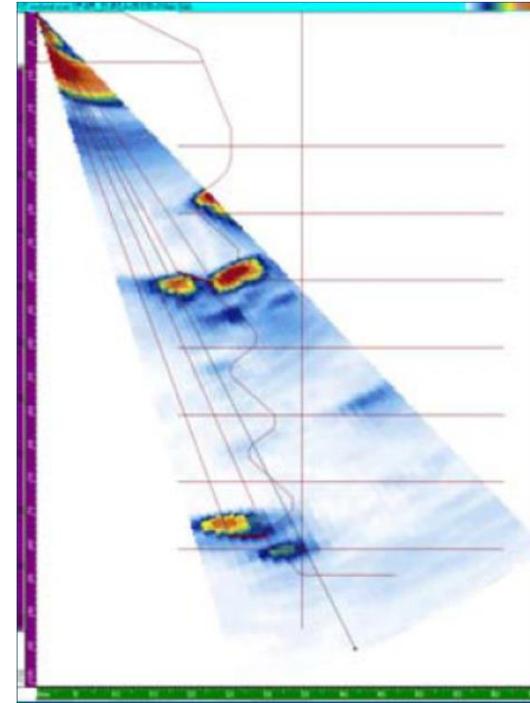
- ▶ Balayage sectoriel de 45° à 70°



INTERET : éviter le mouvement perpendiculaire à la soudure indispensable pour couvrir toute l'épaisseur en UT conventionnels

# Méthodes Volumiques

- ▶ Gain de temps lors de l'acquisition (remplacement du balayage mécanique par un balayage électronique)
- ▶ Amélioration de la précision de la mesure grâce :
  - ▶ Au nombre de points de mesure
  - ▶ À la focalisation du faisceau
  - ▶ A la possibilité d'optimiser les paramètres du transducteur à la zone d'inspection
- ▶ Réduction du nombre de transducteurs
- ▶ Meilleure corrélation des données durant l'analyse
  - ▶ Pas de variation de couplage ou de position d'un transducteur virtuel à l'autre
  - ▶ Possibilité de superposer le profil de la pièce sur l'imagerie
- ▶ Enregistrement et archivage des données (traçabilité des cartographies)
- ▶ Méthode candidate pour le remplacement de la radiographie



*Représentation S-Scan*

# Méthodes Volumiques

- ▶ Préparation obligatoire et complexe de la configuration
- ▶ Interprétation complexe nécessitant
  - ▶ Une solide expérience
  - ▶ Une maîtrise des logiciels d'acquisition et d'analyse
- ▶ Préparation nécessaire et soignée des zones de sondage pour éviter les pertes de couplage
- ▶ Compétence du contrôleur (nécessité de formation)
- ▶ Normalisation en cours
- ▶ Coût du matériel (en baisse)

# Ultrasons multiéléments



# Ondes guidées



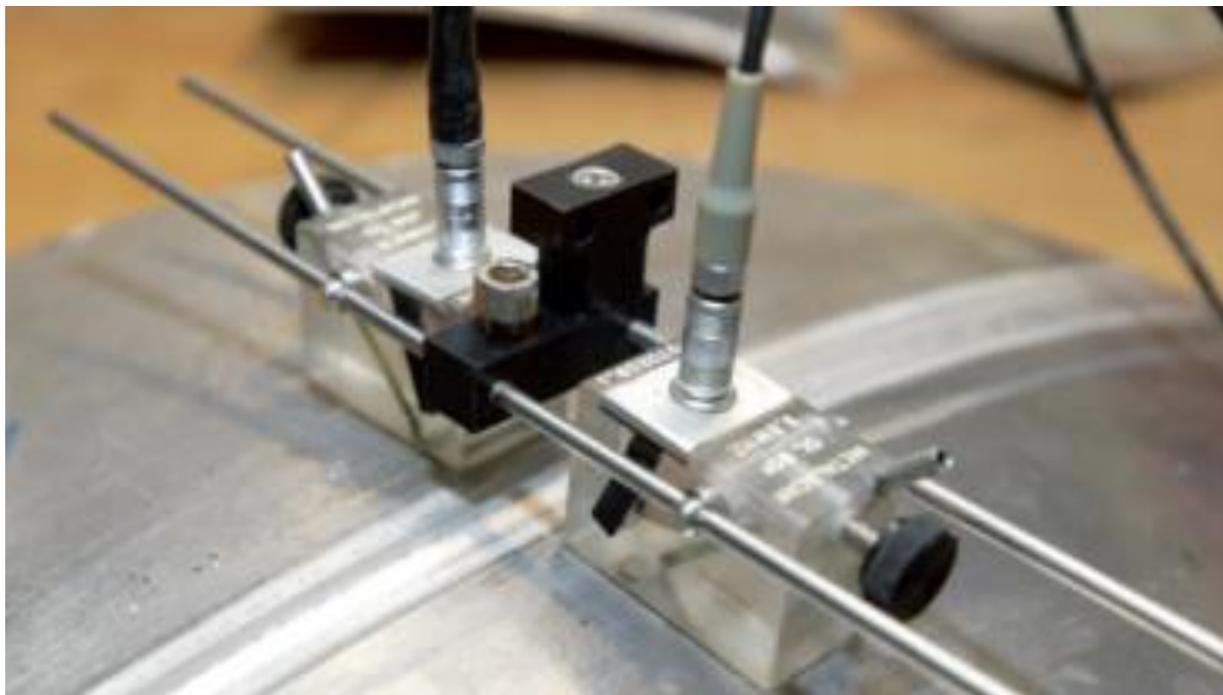
# Ultrasons TOFD

(Time Of Flight Diffraction)



# Ultrasons TOFD

(Time Of Flight Diffraction)



# Ultrasons TOFD

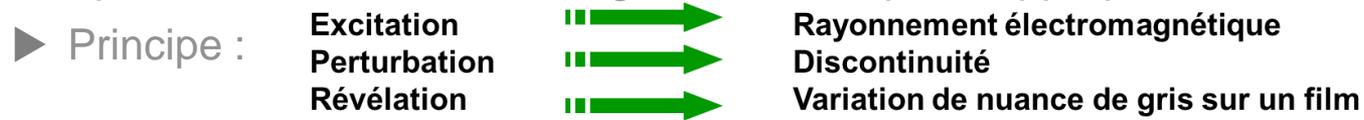
(Time Of Flight Diffraction)



# Méthodes Volumiques

## Contrôle par Radiographie

- ▶ Examen Non Destructif qui permet de détecter des discontinuités surfaciques et internes en faisant traverser la pièce par un rayonnement électromagnétique (X ou  $\gamma$ ) et à recueillir les modulations d'intensité du faisceau générés par la différence d'absorption sous forme d'une image sur un récepteur approprié



Applicable essentiellement sur des assemblages bout à bout (grosses difficultés de mise en œuvre et d'interprétation sur les assemblages d'angle).

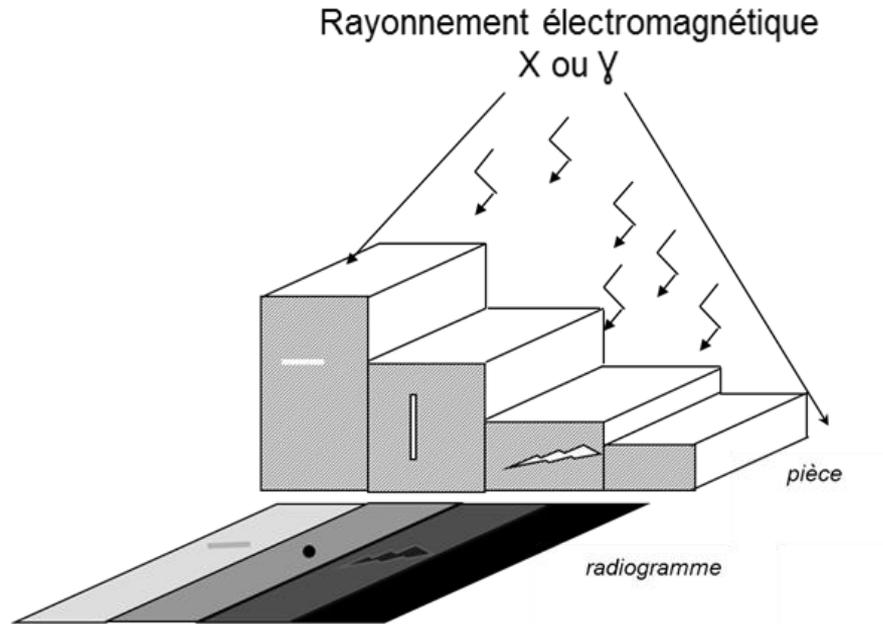
Les assemblages doivent être à pleine pénétration.

Détection de discontinuité dans toute l'épaisseur, les défauts à caractère « volumique » (soufflure, inclusion etc...) sont plus facilement mis en évidence. Seuls les défauts « plans » orientés dans le sens du rayonnement (//) seront détectés.

Les épaisseurs sont limitées par les énergies nécessaires pour créer une image

# Méthodes Volumiques

- ▶ La mise en évidence des défauts est assurée par une variation de densité optique sur le récepteur générée par la différence d'absorption de cette énergie au travers des épaisseurs et de la présence ou pas de défauts.



# Méthodes Volumiques

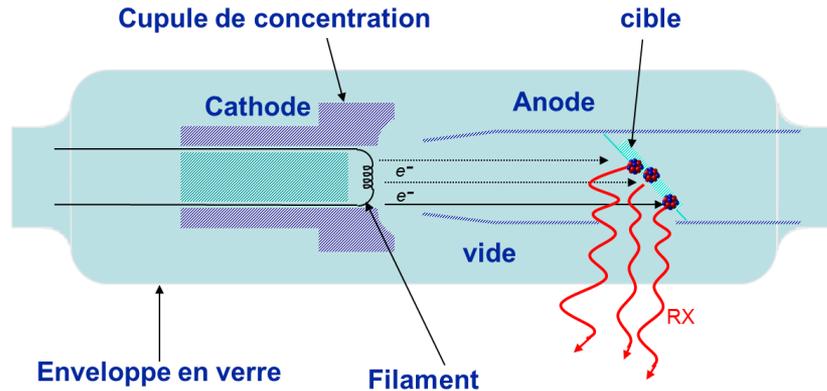
## ► Les différents types de rayonnement radioactif :

NOM	COMPOSITION	PARCOURS DANS L'AIR	ECRAN	LOCALISATION / UTILISATION	RISQUE
$\alpha$	Emission d'un Noyau d'hélium (2 protons et 2 neutrons) $\text{He}^4$	Très faible, quelques cm dans l'air	papier	Produit de fission et d'activation Gaine du combustible, circuit primaire d'une centrale	Très dangereux en interne
$\beta$	Émission d' 1 électron ( $\beta^-$ ) ou 1 positon ( $\beta^+$ )	Faible, quelques m dans l'air (quelques mm dans la matière)	Aluminium Plexiglas, vinyle	Produit de fission et d'activation, circuit primaire d'une centrale	Dangereux en interne et en externe par contact (contamination)
$\gamma$ et $X$	Pas de charge, pas de masse, Rayonnement électromagnétique Le rayonnement $\gamma$ accompagne une désintégration $\alpha$ ou $\beta$	Grand, environ 100m (effet d'atténuation dans la matière)	Atténuateurs: Fer, Pb, béton, eau	<b>domaine des CND par radiographie</b>  Produit de fission et d'activation, circuit primaire d'une centrale, déchet	Dangereux à distance (irradiation)
$\eta$	neutron	Très grand > 100m (effet d'atténuation dans la matière)	Absorbeurs Bore, graphite, cadmium, eau	Batiment réacteur, tranche en fonctionnement d'une centrale	Dangereux à distance (irradiation)

# Méthodes Volumiques

## Rayonnement X

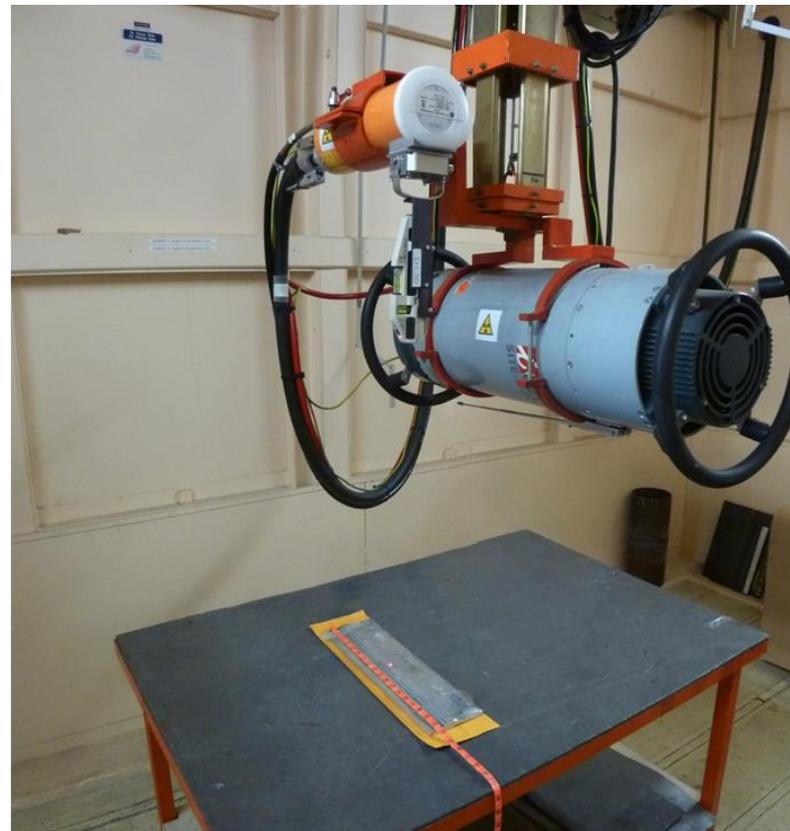
Un générateur permet d'accélérer un faisceau d'électron entre une cathode et une anode. Leur déplacement est stoppé sur une cible, la majeure partie de l'énergie est dissipée par effet Joule (chaleur) d'un côté et par la production de photons X de l'autre



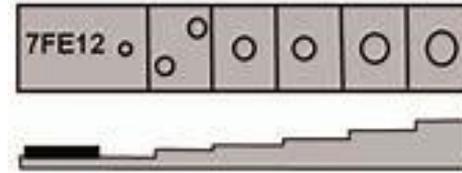
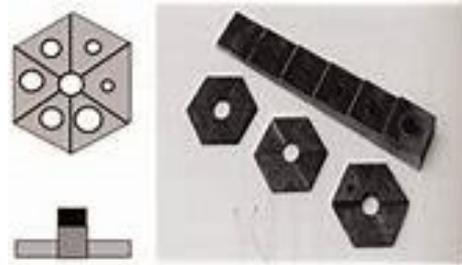
Ce rayonnement X est focalisé au travers d'une fenêtre pour être utilisé à la formation des images radiographiques. Mis en œuvre pour des épaisseurs de 1 à 20 mm.

Le spectre du rayonnement X s'étend sur une large bande d'ondes électromagnétiques, permettant de produire des images avec un contraste très important (sensibilité de détection de défaut fin sur les faibles épaisseurs et matériaux légers)

# Méthodes Volumiques



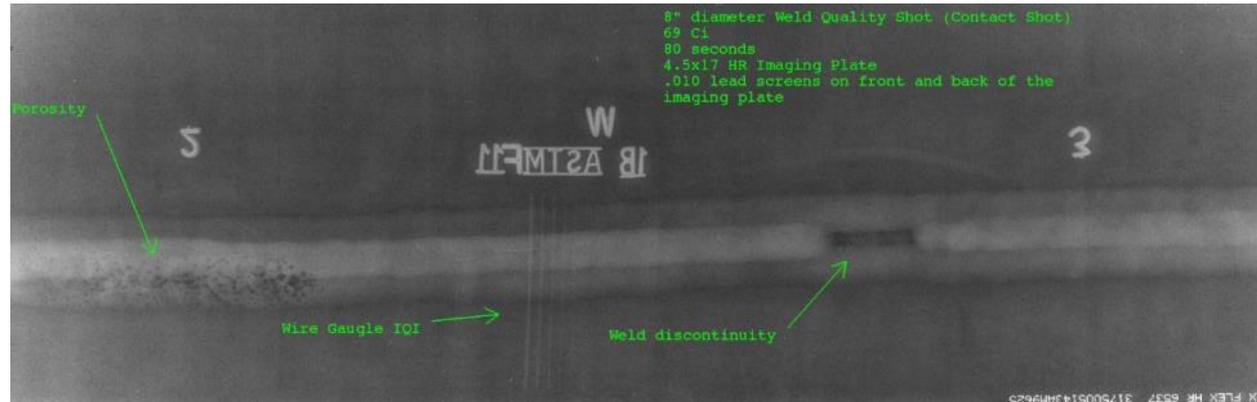
# IQI : Indicateur de Qualité d'Image



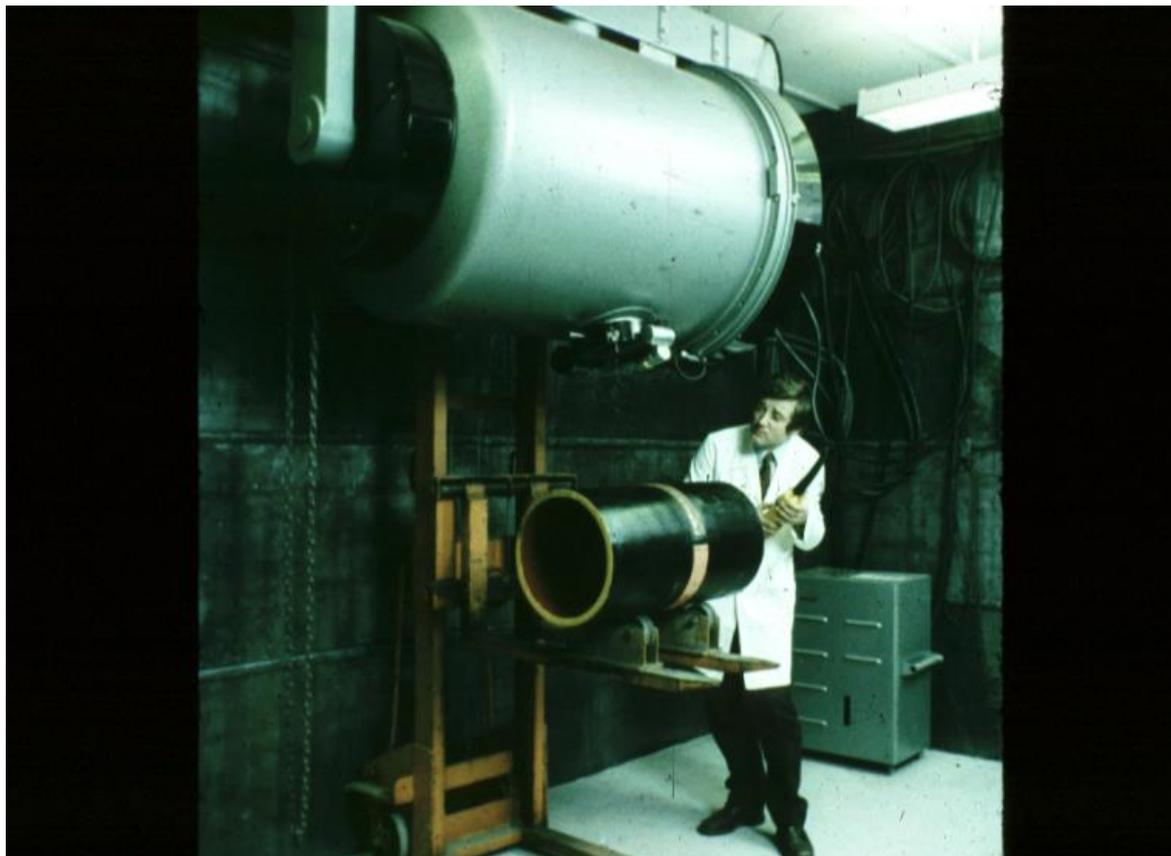
Step/Hole type IQI



Wire type IQI



# Accélérateur de particules



# Méthodes Volumiques

## Rayonnement $\gamma$

Le rayonnement  $\gamma$  est produit par le phénomène de radioactivité, qui est émis lors de la désintégration spontanée de l'une des particules qui compose le noyau atomique. Les radioéléments (isotopes) utilisés en radiographie sont fabriqués artificiellement, ils sont obtenus à l'aide d'atomes que l'on rend instable par apport d'énergie, selon trois processus de fabrication :

- ▶ Par capture ( $n, \gamma$ )
- ▶ Par transmutation ( $n, p$ )
- ▶ Par fission ( $n, f$ )

Cinq éléments principaux utilisés en radiographie :

- ▶ Iridium 192 couramment utilisé pour des épaisseurs de 5 à 100 mm d'acier
- ▶ Sélénium 75 utilisé pour des épaisseurs de 5 à 20 mm d'acier
- ▶ Cobalt 60 utilisé pour des épaisseurs de 50 à 200 mm d'acier
- ▶ Césium 137 utilisé pour des épaisseurs de 50 à 100 mm d'acier
- ▶ Thulium 170 utilisé pour des épaisseurs  $< 5$  mm d'acier

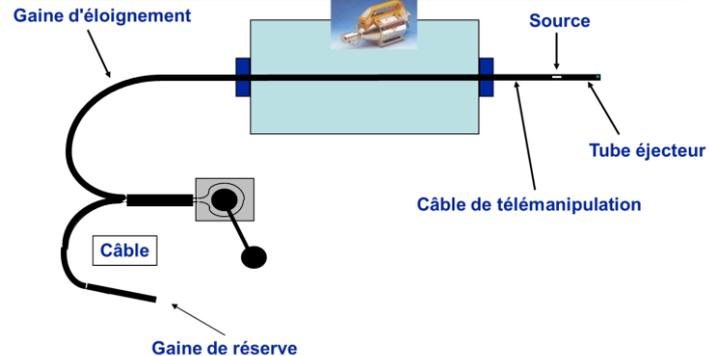
# Méthodes Volumiques

Radio-élément	Période	Spectre d'énergie (en MeV) Raies caractéristiques	Constante spécifique en R/h pour 1 Ci à 1 m (unités anciennes)	Constante spécifique en nA/kg à 1 m pour 1 GBq (unités actuelles)
Ir <sup>192</sup>	74 jours	0,206 - 0,308 0,604 - 0,613	0,5	0,97
Se <sup>75</sup>	120 jours	0,066 – 0,401	0,203	0,39
Co <sup>60</sup>	5,3 ans	1,17 et 1,33	1,32	2,56
Cs <sup>137</sup>	30 ans	0,66	0,35	0,68
Tm <sup>170</sup>	127 jours	0,084	0,0025	0,0048

Les spectres du rayonnement  $\gamma$  (fonction des isotopes), sont bien moins riches qu'en RX  
 Plus le spectre d'énergie du rayonnement est riche plus l'image formée sur le film sera contrastée  
 Plus la constante spécifique est élevée plus l'épaisseur traversée pourra être importante  
 Le rayonnement  $\gamma$  par rapport au RX permet par son énergie élevée de traverser des épaisseurs très importantes

# Méthodes Volumiques

## Conteneur de transport et matériel d'éjection des sources



# Méthodes Volumiques

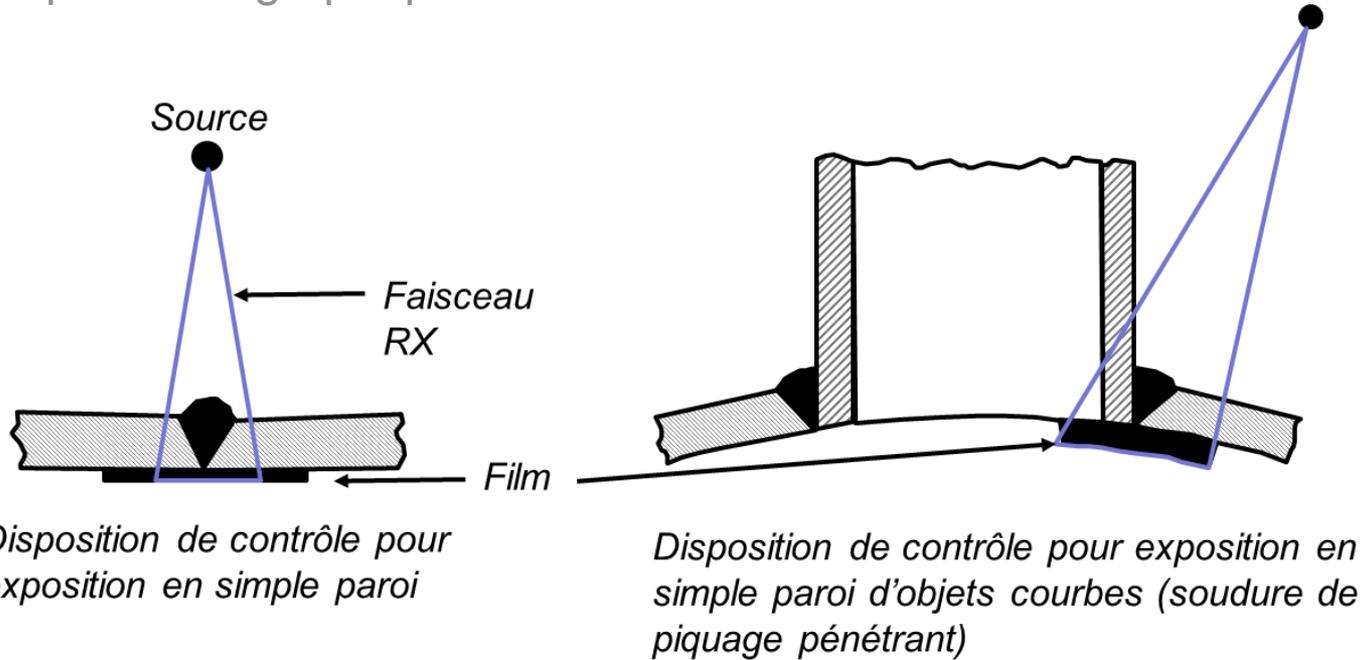
- ▶ Formation d'une image sur le récepteur :
- ▶ Système de radiographie conventionnelle : Le film argentique
  - ▶ Ce film est constitué d'une fine feuille de plastique transparent recouvert sur ces 2 faces par de la gélatine contenant des grains de sels d'argent (généralement du bromure d'argent).
  - ▶ Les photons interagissent avec les grains de sels d'argent. Le développement conduit à transformer en argent les grains impressionnés (AgO) et à éliminer les autres.
- ▶ Système numérique : capteurs numériques
  - ▶ Les écrans photo stimulables délivrent une image grâce au phénomène de luminescence photo stimulée (image latente). L'image est révélée après un processus de lecture optique de l'écran préalablement exposé

# Méthodes Volumiques

- ▶ Formation d'une image sur le récepteur :
- ▶ Les paramètres d'exposition tiennent compte
  - ▶ De l'épaisseur à traverser
  - ▶ De la distance entre la source et le film
  - ▶ De l'énergie du rayonnement (activité de la source  $\gamma$ , Paramètres mA et V pour les X)
  - ▶ De la nature du matériau
  - ▶ De la nature du récepteur (films rapides ou lent, type d'écran).
- ▶ Difficultés de l'interprétation
  - ▶ La lecture des images radiographiques est assez complexe et nécessite une grande expérience et maîtrise des procédés de soudage de la part des opérateurs.
  - ▶ L'ensemble des images (le volume d'épaisseur traversé par le rayonnement) est projeté à plat sur le film (argentique ou numérique), il faut donc que l'opérateur qui réalise cette interprétation reconstitue intellectuellement ce volume en tenant compte des effets de la projection (agrandissement, déformation des images).

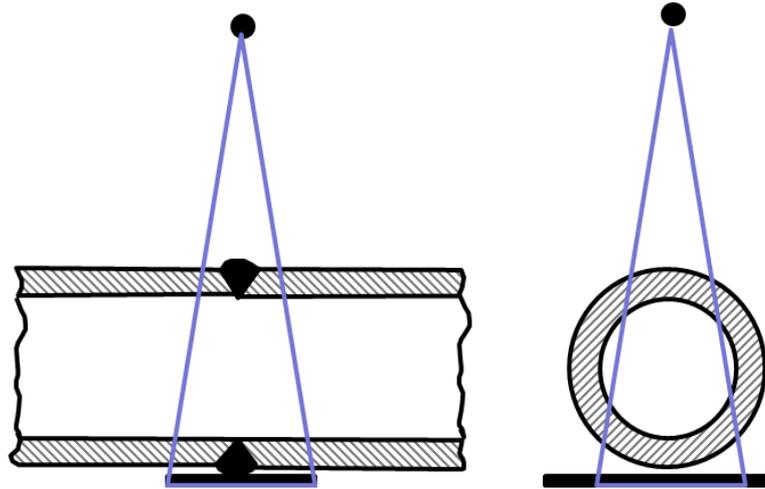
# Méthodes Volumiques

## ► Techniques radiographiques :



# Méthodes Volumiques

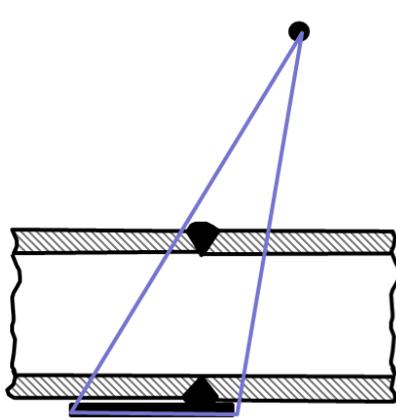
## ► Techniques radiographiques :



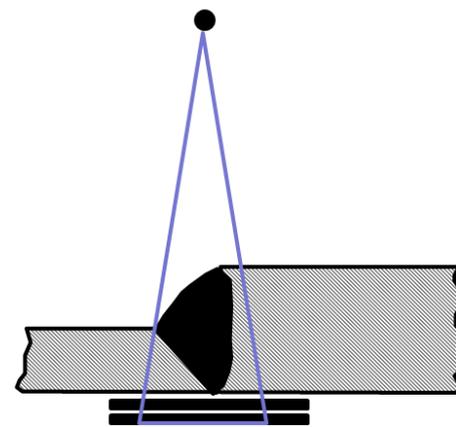
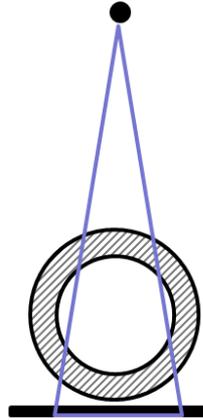
*Disposition de contrôle pour exposition en double paroi  
double image d'objets courbes avec interprétation des deux  
parois (source et film à l'extérieur de l'objet)*

# Méthodes Volumiques

## ► Techniques radiographiques :



*Technique de l'ellipse  
Disposition de contrôle pour exposition en double paroi  
double image d'objets courbes avec interprétation des deux  
parois (source et film à l'extérieur de l'objet)*

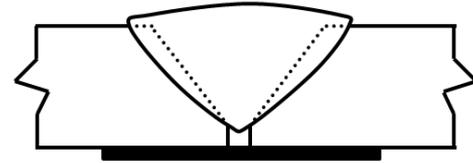
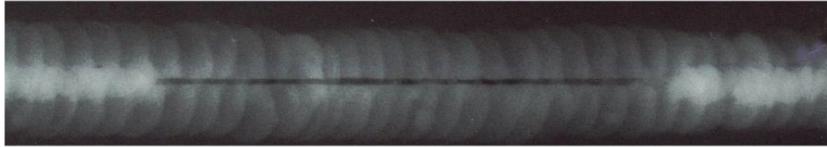


*Technique avec matériaux  
d'épaisseur différentes :  
technique multi-film*

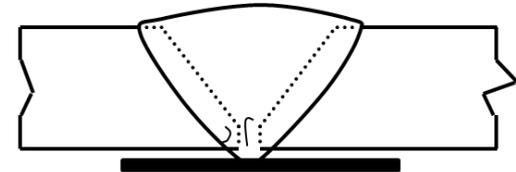
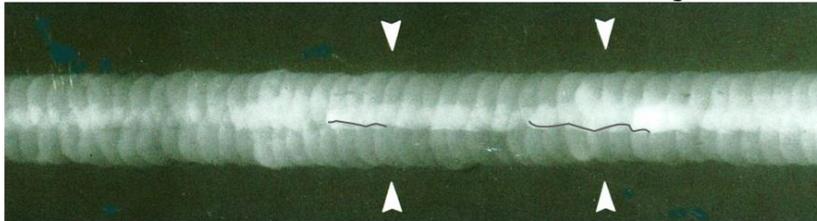
# Méthodes Volumiques

## ► Techniques radiographiques :

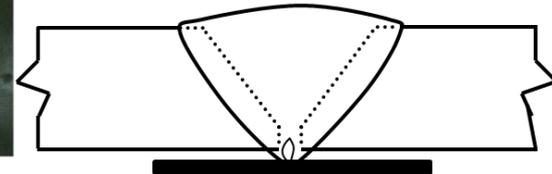
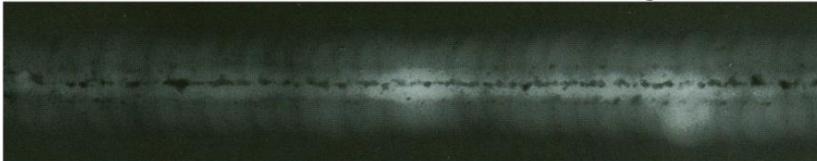
*Manque de pénétration*



*Fissure longitudinale*

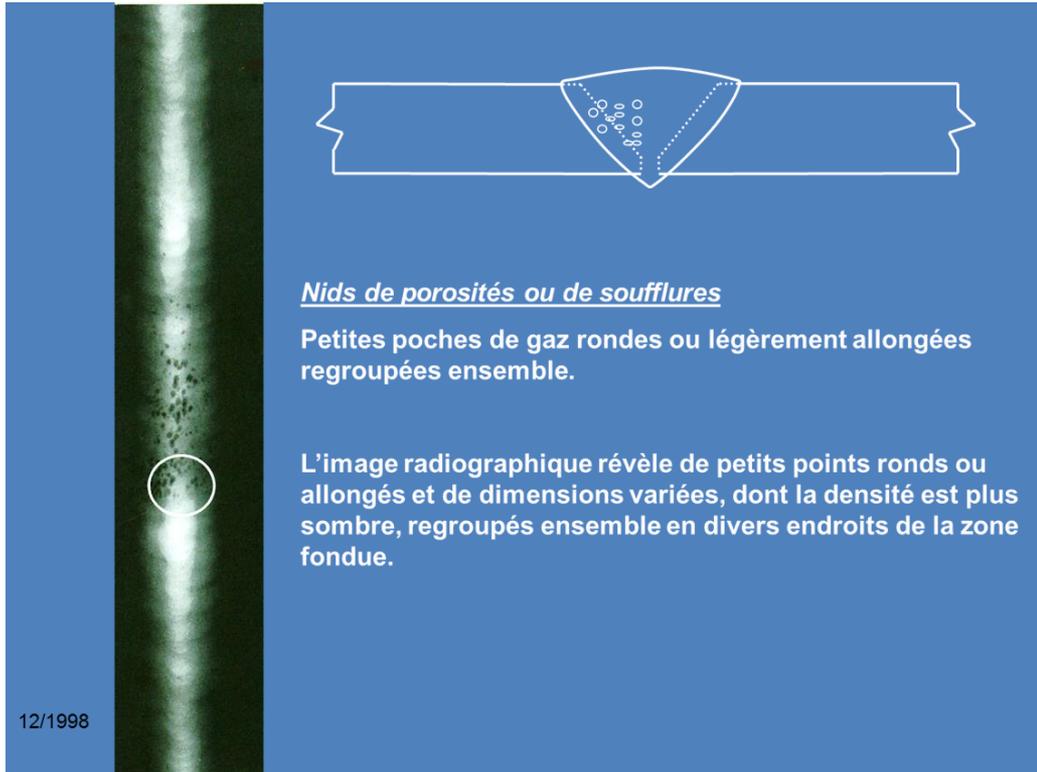


*Soufflures alignées à la racine*



# Méthodes Volumiques

## ► Techniques radiographiques :



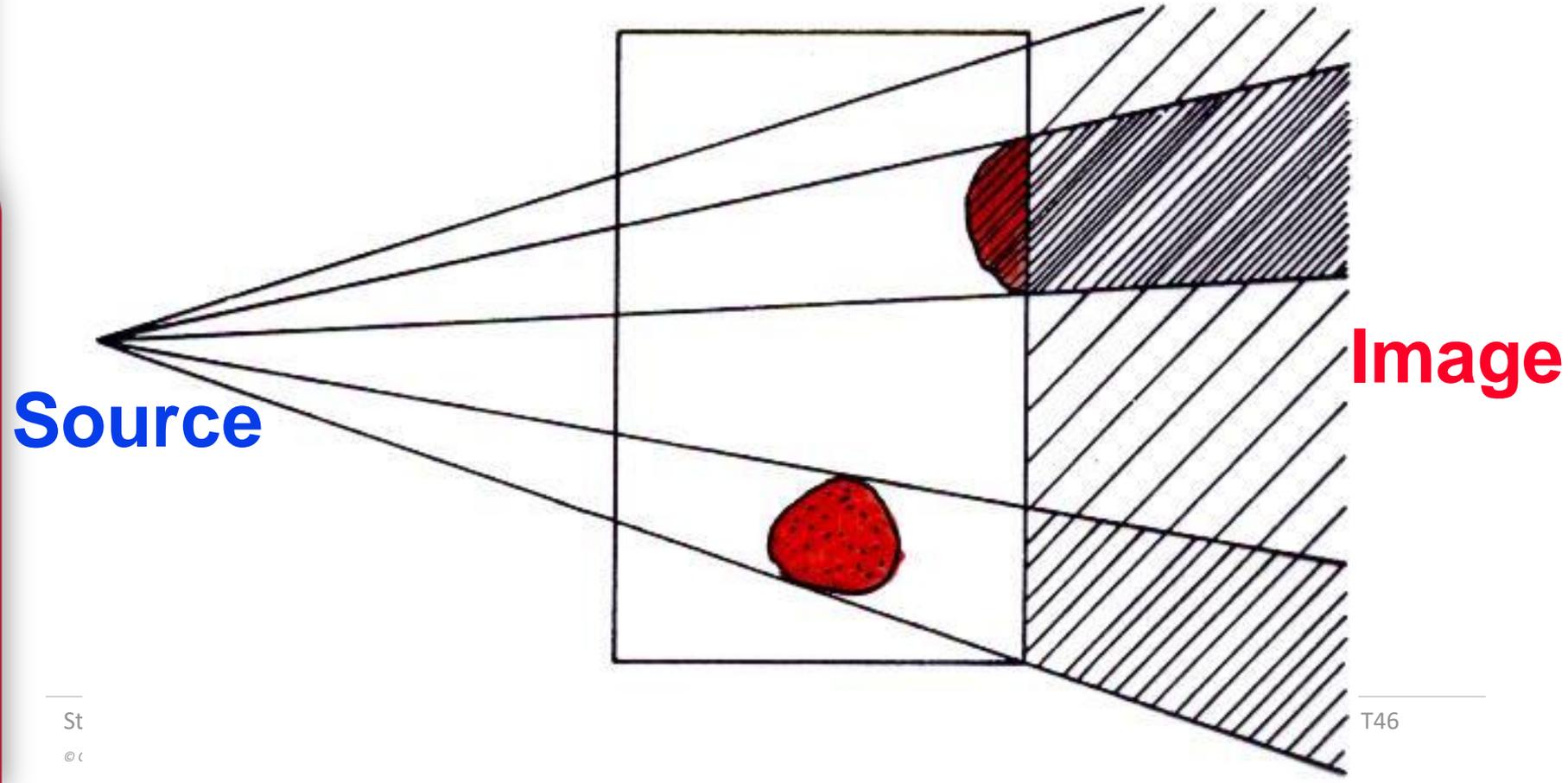
### Nids de porosités ou de soufflures

Petites poches de gaz rondes ou légèrement allongées regroupées ensemble.

L'image radiographique révèle de petits points ronds ou allongés et de dimensions variées, dont la densité est plus sombre, regroupés ensemble en divers endroits de la zone fondue.

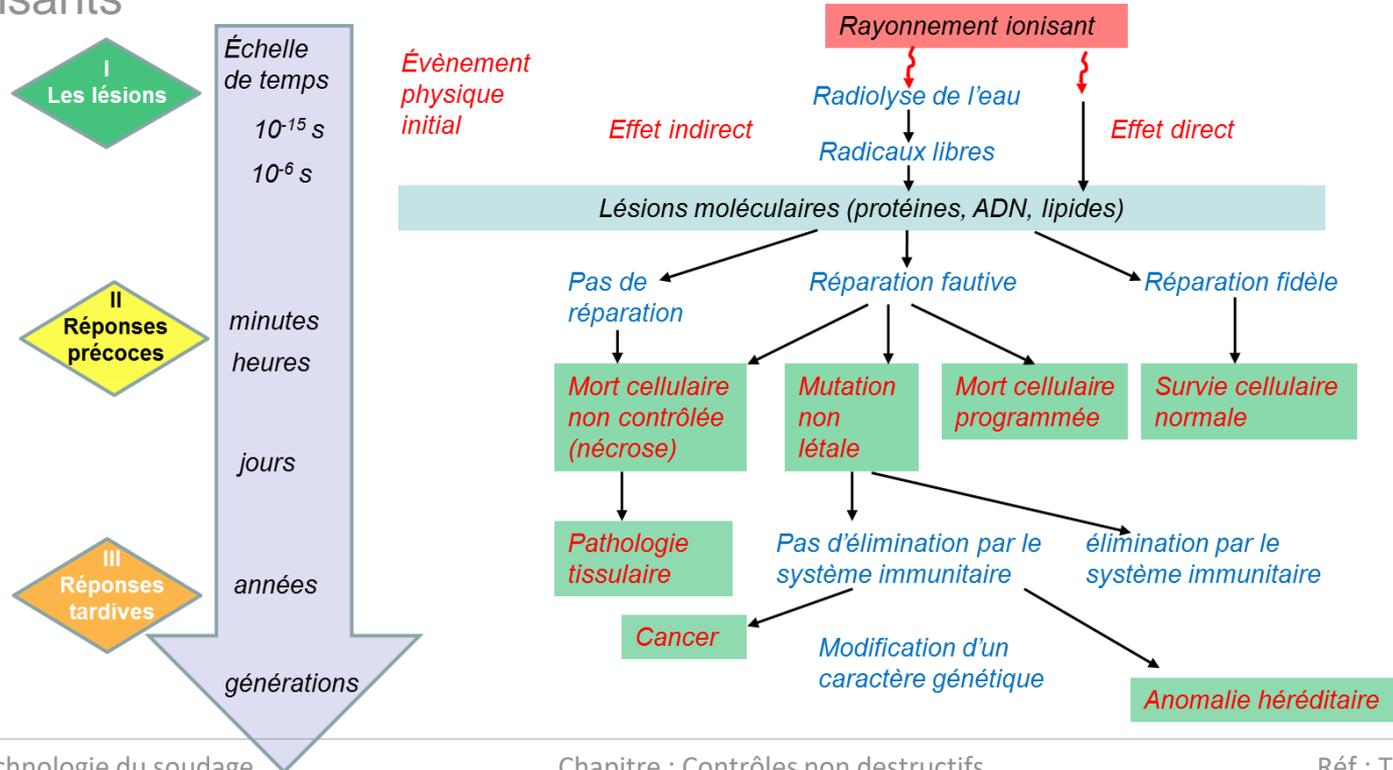
12/1998

# Radiographie



# Méthodes Volumiques

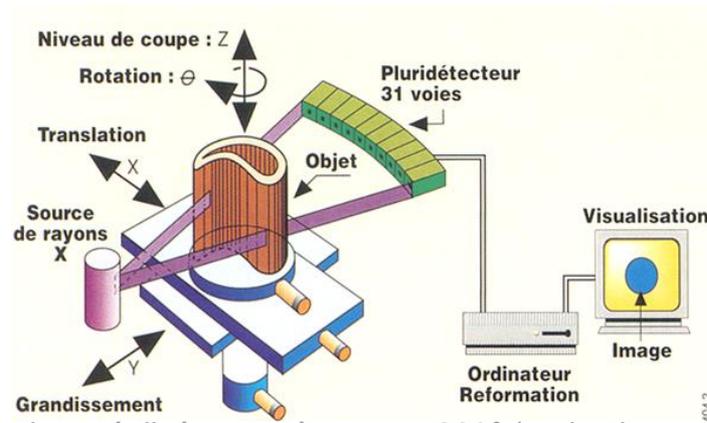
## ► Problèmes liés à la radioprotection par exposition à des rayonnements ionisants



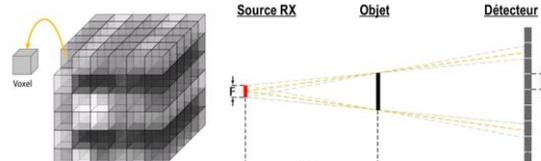
# Méthodes Volumiques

## Variante à la radiographie classique = Tomographie

La source ou l'objet se déplace afin d'acquérir une grande quantité d'images qui sont ensuite traitées par informatique pour reconstituer le volume



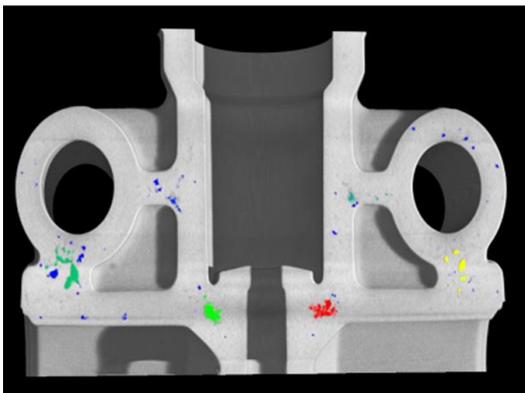
- ▶ Ensemble de projections réalisées pas à pas sur  $360^\circ$  (projection = acquisition), un pas  $< 1^\circ$
- ▶ Reconstruction à partir de l'acquisition de toutes les projections, l'objet est découpé en « pixel 3D » (Voxel)



# Méthodes Volumiques

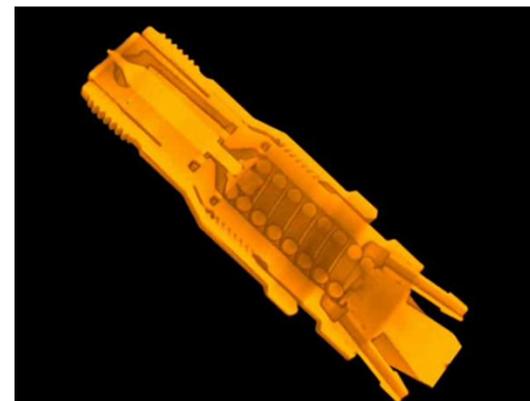
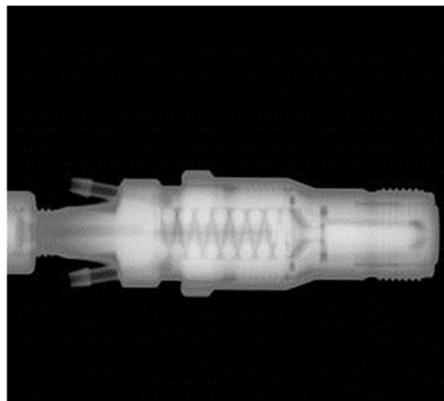
## Porosités pièce fonderie aluminium

(Courtoisie de GE S&IT - Phoenix X-Ray)



## Représentation 3D pour dimensionnement : injecteur et culasse

(Courtoisie de GE S&IT - Phoenix X-Ray)



Encore à ce jour destiné à des pièces de fonderie ou mécanique de petites dimensions, également pour les matériaux composites.

Très peu d'application sur assemblages soudés (Au CETIM cas d'application lors d'expertise), limité par les énergies nécessaires aux épaisseurs à traverser.

# Thermographie



# Méthodes globales

## Contrôle par Emission acoustique

- ▶ Examen Non Destructif qui permet de détecter des discontinuités internes en appliquant une contrainte sur la pièce et à recueillir les d'ondes élastiques transitoires produit par les micro-déplacements locaux des éventuelles discontinuités



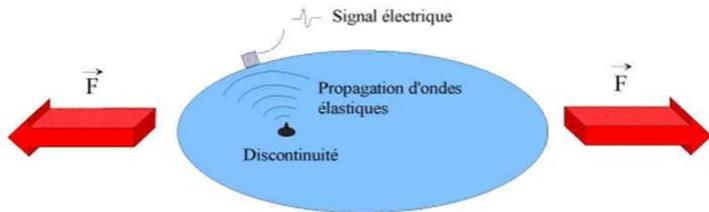
Permet un contrôle global de la structure (volumique), contrôle dynamique en temps réel des discontinuités évolutives sous l'action de la contrainte

Le défaut doit être actif au cours de l'examen, les discontinuités non sensibles à la charge appliquée sont non émissives

Pré-localisation pendant l'essai des discontinuités évolutives, à l'aide de plusieurs capteurs, mise en œuvre de moyens CND conventionnels pour affiner et caractériser

Un examen par émission acoustique en fonctionnement peut dans certains cas se substituer à une épreuve hydraulique périodique

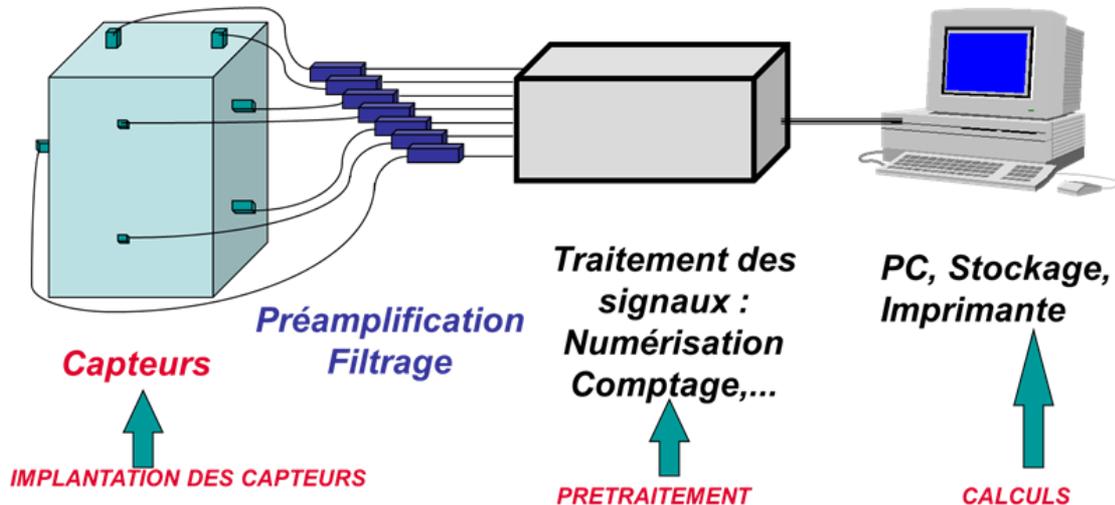
# Méthodes globales



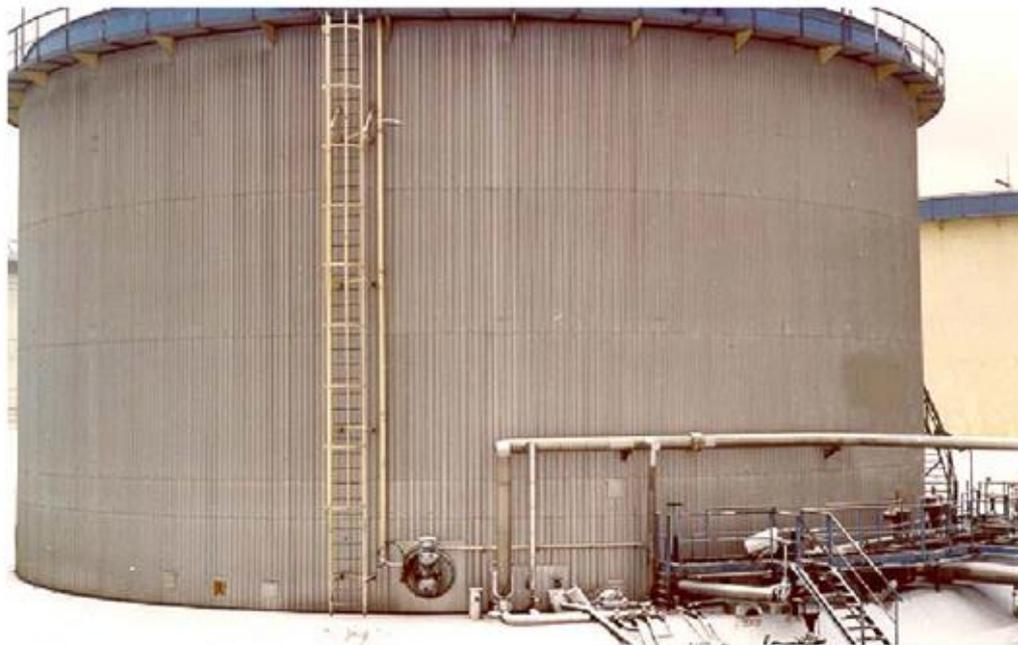
Le signal d'émission acoustique est la manifestation mécanique ou ultrasonore de micro-déplacements internes liés à une source élémentaire de la mécanique de la rupture ou à un changement de dimension du réseau cristallin

L'onde créée contient des Impulsions qui se propagent à différentes vitesses suivant leur nature

## Structure



# Méthodes globales



Contrôle de fond de bac de stockage, Recherche de zones de corrosion et/ou recherche de fuite

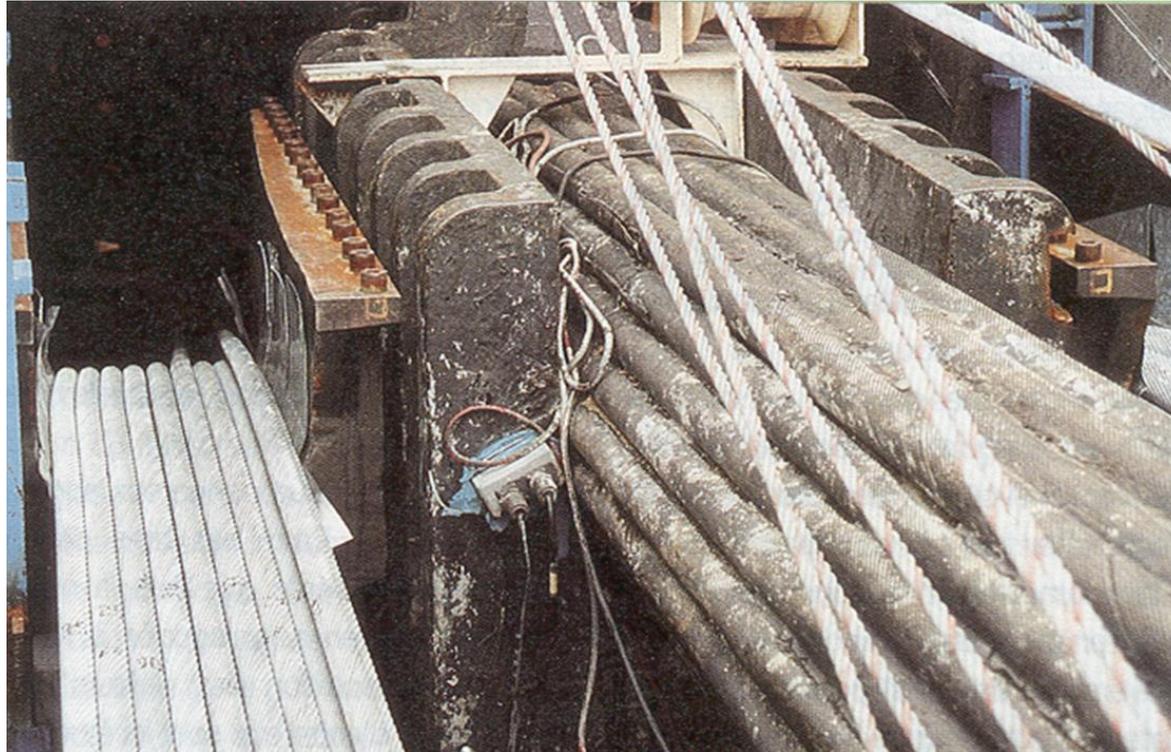
# Méthodes globales



*Contrôle périodique d'une sphère de stockage*

L'objectif est de palier à l'épreuve hydraulique décennale

# Méthodes globales



## Surveillance de câbles de pont suspendu ou à haubans

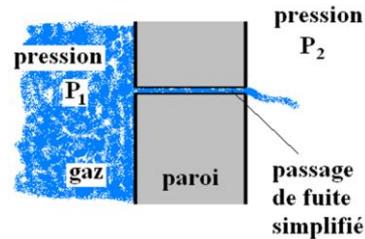
# Emission acoustique



# Méthodes globales

## Contrôle d'étanchéité

- ▶ Notion de fuite : « le flux est la dérivée / temps de la quantité énergétique PV de gaz en mouvement »



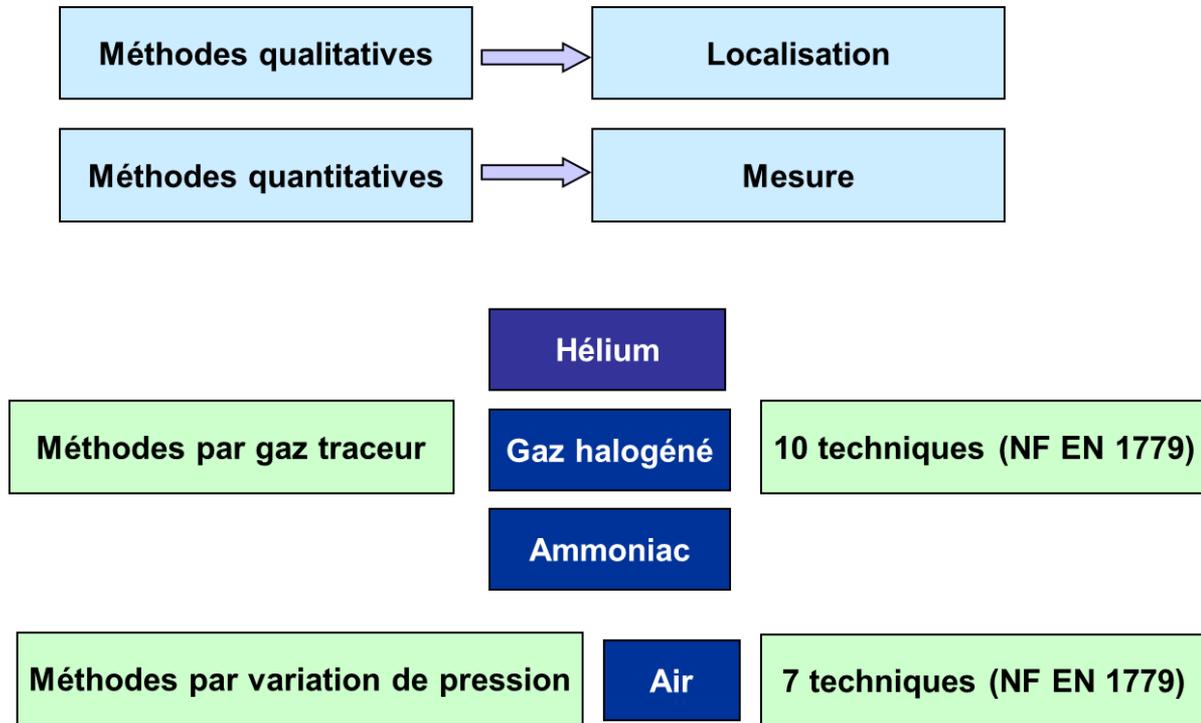
- ▶ Unité internationale :  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
- ▶ Unités usuelles :  $\text{atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$  et  $\text{mbar} \cdot \text{l}/\text{s}$
- ▶ Un flux de  $10^{-4} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$  correspond à l'échappement dans l'eau d'une bulle d'air de diamètre 2 mm toutes les 40 secondes.
- ▶ Une fuite de  $10^{-10} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$  correspond à un écoulement d'air dans  $1 \text{ cm}^3$  sous 1 atm en environ 310 ans.

# Méthodes globales

Cas des gaz						
Fuite		Fuite	Capacité de référence	Temps	Poids d'H <sub>2</sub> gazeux	volume
Pa.m <sup>3</sup> /s		atm.cm <sup>3</sup> /s			mg	cm <sup>3</sup>
1,00E-13	hélium  bulloscopie "gaz"	1,00E-12	tête d'épingle	2 siècles	0,01	0,07
1,00E-10		1,00E-09	dé à coudre	5 ans	0,27	1,5
1,00E-08		1,00E-07	dé à coudre	2 semaines	0,27	1,5
1,00E-05		1,00E-04	magnum de champagne	2 semaines	2,7E+02	1,5E+03
1,00E-03		1,00E-02	seau	2 heures	2,7E+03	1,5E+04
1,00E-01		1,00E+00	camion citerne	2 semaines	2,1E+06	1,20E+07
Cas des liquides						
Fuite		Fuite	Capacité de référence	Temps	Poids d'H <sub>2</sub> O gazeux	volume
cm <sup>3</sup> / h		l / s			g	cm <sup>3</sup>
4,0E-09	bulloscopie *	1,00E-15	tête d'épingle	2 siècles	7,0E-02	7,0E-02
4,0E-06		1,00E-12	dé à coudre	5 ans	1,5E+00	1,5E+00
4,0E-03		1,00E-09	magnum de champagne	5 ans	1,5E+03	1,5E+03
4,0E+00		1,00E-06	seau	2 semaines	1,5E+04	1,5E+04
4,0E+03		1,00E-03	camion citerne	2 semaines	1,2E+07	1,2E+07
4,0E+06		1	piscine olympique	3 jours	2,5E+09	2,5E+09

Valeurs approximatives pour un delta de pression de 10 bar  
 \* en supposant l'écoulement visqueux dans les fuites, on peut dire : bulloscopie "gaz" = 5 10<sup>-9</sup> l/s

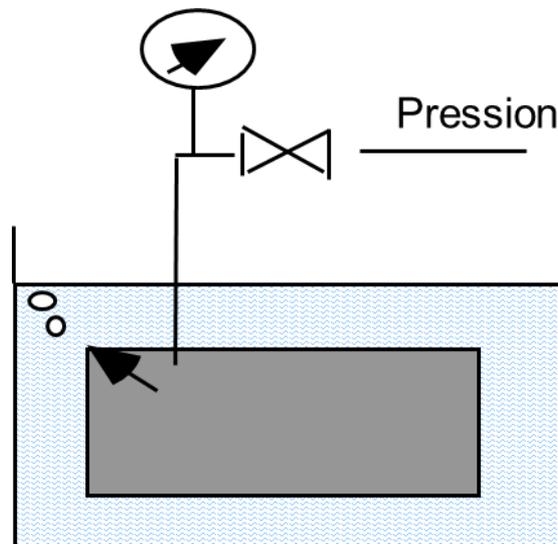
# Méthodes globales



# Méthodes globales

## Contrôle à la bulle (immersion)

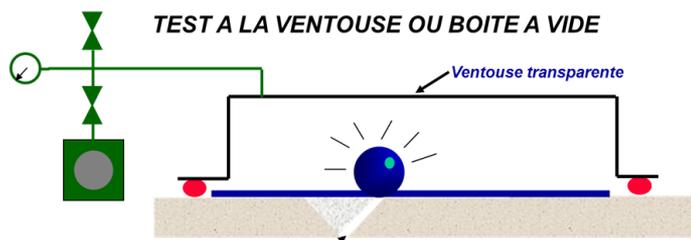
- ▶ Bulles par immersion
  - ▶ Objet sous pression
  - ▶ Immersion dans l'eau
  - ▶ Bulles si fuite
  
- ▶ Sensibilité :  $1.10^{-4} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$



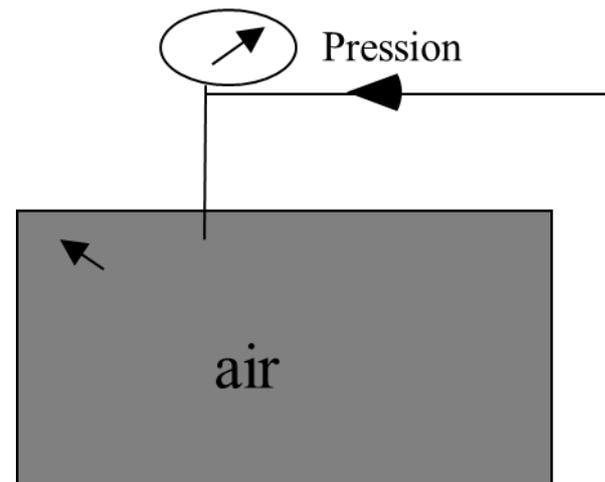
## Méthodes globales

### Contrôle à la bulle (application d'un liquide – produit moussant ou eau savonneuse)

- ▶ Formation de bulles
  - ▶ Objet sous pression
  - ▶ Application d'un film de produit sur surface
  - ▶ Bulles si fuite
- ▶ Variante pour contrôler des surfaces :



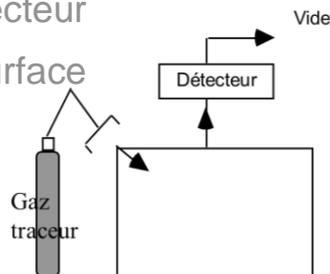
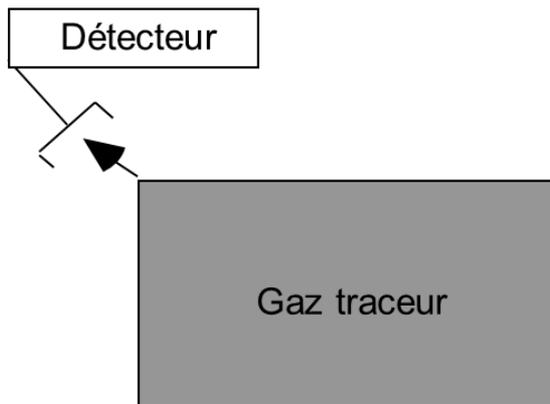
- ▶ Sensibilité :  $1 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



# Méthodes globales

## Avec gaz traceur

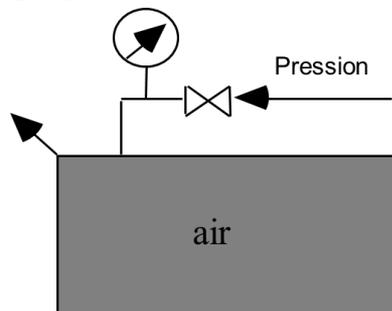
- ▶ Sensibilité :  $1.10^{-7} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$
- ▶ Détection par reniflage
  - ▶ La capacité est remplie de gaz traceur
  - ▶ Détection des fuites avec déplacement d'une sonde (reliée à un détecteur de gaz) autour des zones susceptibles de fuir
- ▶ Détection par aspersion
  - ▶ Objet mis sous vide et relié à un détecteur
  - ▶ Pulvérisation de gaz traceur sur la surface



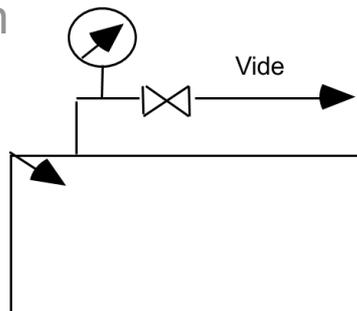
# Méthodes globales

## Mesure d'une variation de pression

- ▶ Sensibilité :  $1 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- ▶ Mesure d'une chute de pression



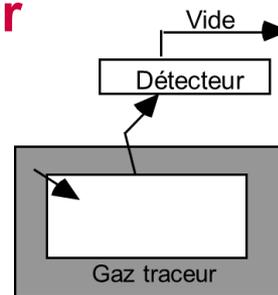
- ▶ Mesure d'une remontée de pression



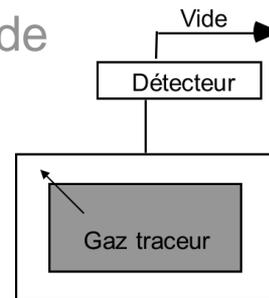
# Méthodes globales

## Mise sous vide et détection d'un gaz traceur

- ▶ Sensibilité :  $1.10^{-10} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$
- ▶ La capacité est mise sous vide
  - ▶ reliée à un détecteur de gaz
  - ▶ placé dans une enveloppe remplie de gaz traceur

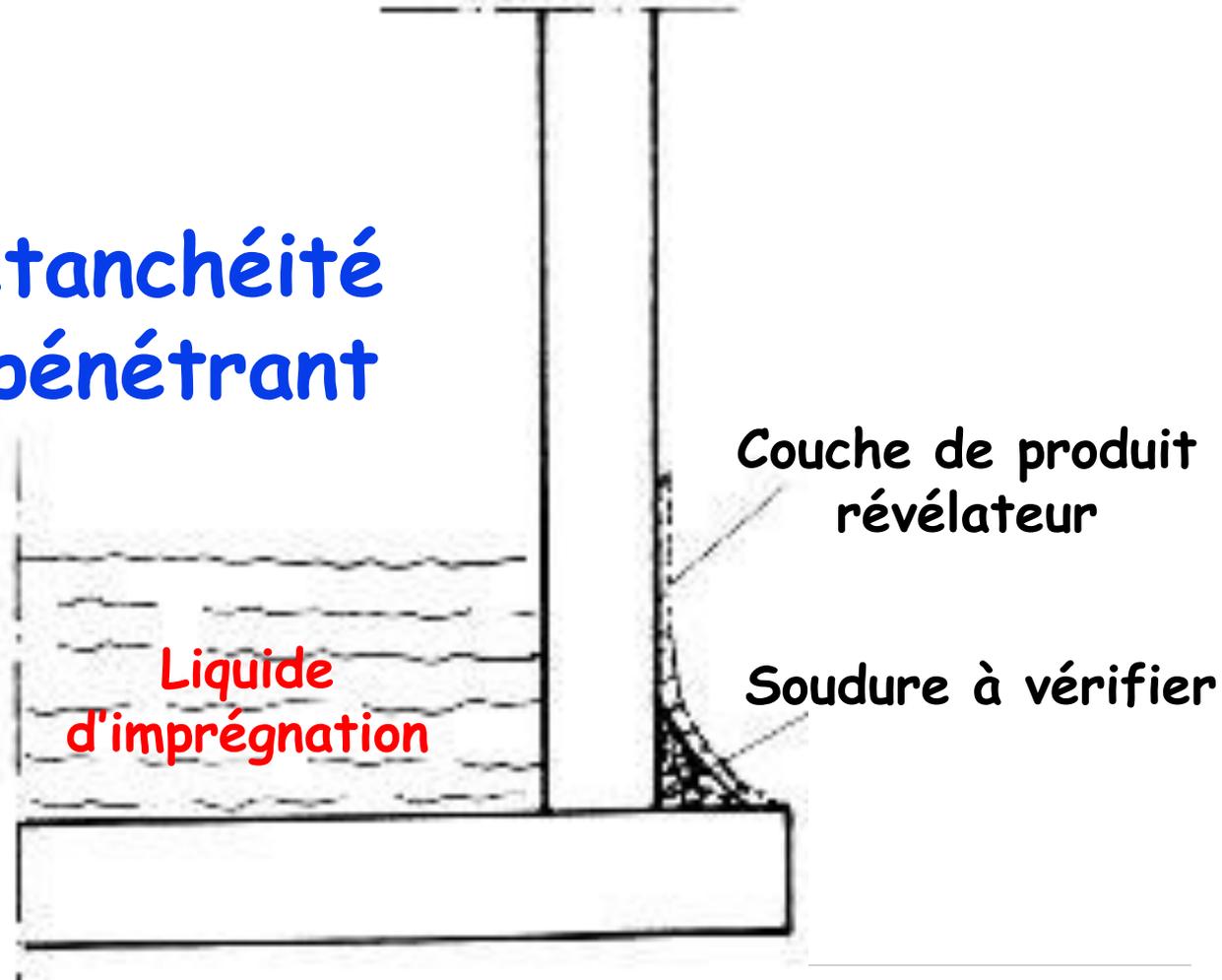


- ▶ La capacité est placée dans une enceinte sous vide
  - ▶ reliée à un détecteur de gaz
  - ▶ mise sous pression avec gaz traceur



# Étanchéité

## Contrôle d'étanchéité par liquide pénétrant



# Essais en fosse



# Conclusions (1/3)

## Contrôle des constructions soudées

- ▶ Les techniques de CND statuent sur des indications, pas sur les défauts directement (image, projection, grandeur physique)
- ▶ Aucune technique de CND, même appliquée suivant les normes en vigueur, ne permet donc de détecter tous les défauts susceptibles d'être présents au stade d'une fabrication (orientation, forme, position dans l'épaisseur).
  - ▶ Chacune assure une certaine probabilité de détection (POD) : le résultat revêt un caractère statistique
  - ▶ Pour augmenter la POD, il peut être nécessaire de qualifier une technique pour un besoin précis ou appliquer plusieurs techniques en jouant sur leur complémentarité

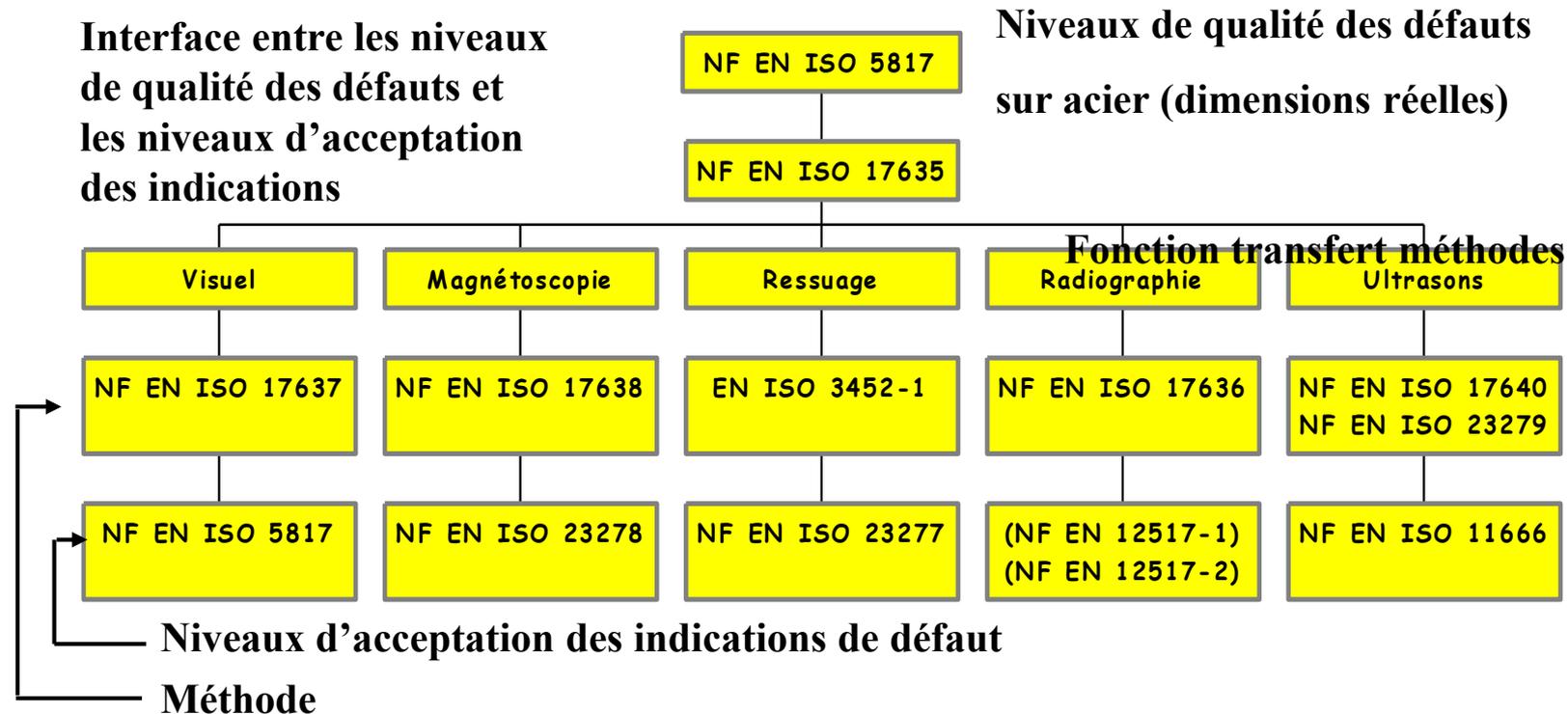
# Conclusions (2/3)

## Contrôle des constructions soudées

- ▶ Le choix d'un code de construction a un impact sur :
  - ▶ les possibilités d'application des techniques de CND
  - ▶ les critères d'acceptation
  - ▶ le taux de réparation
  - ▶ le coût de la fabrication

# Contrôles non destructifs (2)

## Méthodes et critères



## Conclusions (3/3)

### Contrôle des constructions soudées

Il n'existe pas de méthode universelle

Il n'existe pas de bonne ou mauvaise méthode

Il n'y a pas de compétition entre les méthodes

Les méthodes de CND sont  
**COMPLEMENTAIRES !**

# Qualification et certification du personnel END

Méthode d'essai non destructif	Terme abrégé
Émission acoustique	AT
Courants de Foucault	ET
Thermographie infrarouge	TT
Étanchéité	LT
Magnétoscopie	MT
Ressuage	PT
Radiographie	RT
Contrôle des contraintes résiduelles	ST
Ultrasons	UT
Examen visuel	VT

# Qualification et certification du personnel END

Méthode d'essais non destructifs		Niveau 1 h	Niveau 2 h	Niveau 3 h
AT		40	64	48
ET		40	48	48
LT	B Méthode par pression	24	32	32
	C Méthode par traceur gaz	24	40	40
MT		16	24	32
PT		16	24	24
ST		16	24	20
TT		40	80	40
RT		40	80	40
UT		40	80	40
VT		16	24	24

**NOTE** Pour la méthode RT, les heures de formation n'incluent pas la formation à la sécurité au sujet des radiations.

# Qualification et certification du personnel END

Méthode d'essai non destructif	Expérience mois <sup>a</sup>		
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
AT, ET, LT, RT, UT, TT	3	9	18
MT, PT, ST, VT	1	3	12

<sup>a</sup> L'expérience est fondée sur une semaine de travail de 40 h ou une semaine légale de travail. Lorsqu'un agent travaille plus de 40 h par semaine, l'expérience peut lui être créditée sur le nombre total d'heures, mais il doit produire la preuve de cette expérience.

# Qualification et certification du personnel END

## A.2 Secteurs produits

Les secteurs produits comprennent ce qui suit:

- a) pièces moulées (c) (matériaux ferreux et non ferreux);
- b) pièces forgées (f) (tous types de pièces forgées; matériaux ferreux et non ferreux);
- c) soudures (w) (tous types de soudure, y compris le brasage tendre, pour matériaux ferreux et non ferreux);
- d) tubes et tuyauteries (t) (sans soudure, soudés, en matériaux ferreux ou non ferreux, y compris les produits plats destinés à la fabrication de tuyauteries soudées);
- e) produits corroyés (wp) sauf pièces forgées (par exemple tôles, barres, fils);
- f) matériaux composites (p).

## A.3 Secteurs industriels

Secteurs combinant un certain nombre de secteurs produits, comprenant certains ou tous les produits ou matériaux définis (par exemple matériaux ferreux et non ferreux, ou non métalliques tels que céramiques, plastiques et composites):

- a) fabrication d'équipements;
- b) essais avant et en cours d'exploitation d'équipements, qui comprend la fabrication;
- c) maintenance ferroviaire;
- d) aérospatiale.

# PV UT

<b>TENE</b>		<b>PROCES-VERBAL D'EXAMEN PAR ULTRASON MEP</b>		Rapport n° : 190490 Indice de Révision : 0 En date du : 11/04/2019												
		ULTRASONIC EXAMINATION REPORT		Référence Client : CEM Page 1 / 3												
TENE - 9 rue de l'Eau 59230 Sars et Rosières - TEL : 03 27 22 25 81 - 384 335 527 R.C.S. Valenciennes																
CLIENT / Customer: <b>CEM</b>			REFERENCES DE L'OBJET / Object references <b>233457</b>													
DATE & LIEU D'INTERVENTION Examination Date and Place: 11/04/2019 sur le site de Metal Control situé à Meaux (77)			CONSTRUCTEUR Builder:	N° DE COMMANDE Order number:												
<b>DOCUMENTS APPLICABLES / Documentation</b>																
NORME-CODE / Standard Reference NF EN ISO 17640		VERSION SEVERITE / Class Niveau A	SPECIFICATIONS / Clients documents NF EN ISO 11666		PROC. TENE / Teneo Procedure:											
<b>CONDITIONS D'EXAMEN / Examination conditions:</b>																
STADE D'EXAMEN / Sequence :		ETENDUE / Scope: 100%	ZONE D'EXAMEN / Exam zone 100% de la zone soudée + la ZAT		ISO / PLAN Drawing N°:											
MATERIEL EXAMINE Equipment: Matériau : Acier Nuance :  Type Assemblage : BW <input type="checkbox"/> FW <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> Procédé de soudage :		CONCEPTION Design: Dimensions: 100x55 mm  Epaisseur 12 mm Long./Surf. Croquis en annexe <input type="checkbox"/> Type de soud. :	TEMPERATURE PIECE Temperature: Temp < 10°C <input type="checkbox"/> 10°C ≤ Temp ≤ 50°C <input checked="" type="checkbox"/> Temp > 50°C <input type="checkbox"/>  Temp. Mesurée :		ETAT DE SURFACE Surface condition: <input type="checkbox"/> Brut / Raw <input type="checkbox"/> Usiné / Machined <input type="checkbox"/> Meulé / Grind <input type="checkbox"/> Autre / Other:											
<b>EQUIPEMENT et ETALONNAGE ULTRASON / Ultrasonic Equipment and calibration:</b>																
Appareil Ultrasons UT System: EPOCH 600		Référence Reference: 130479502	Marque Brand: OLYMPUS													
Produits de couplage utilisés Couplants used:		<input type="checkbox"/> Huile Oil	<input type="checkbox"/> Eau Water	<input type="checkbox"/> Colle Glue	Pâte de contact Contact paste Ret: PMUC Lot: 39384											
<b>Palpeurs / Probes</b>																
Ondé Wave [L/T]	Marque Trade Reference	Référence Element [Q/TB/A]	Mesure Mesure	Fréq. Freq. [Mhz]	Piezo dim. Piezo size [mm]	Distance Distance [mm]	Bloc / Block		Etalonnage / Calibration							
							Amplification Block Used	Nuance Material	Gain Gain [dB]	Base de Temps TimeBase [mm]	Echo de référence Haut./Height [mm]	Prof./Depth [mm]	Z0 [mm]	Correction Correction [dB]		
L	Sofrane	MIFER-4 n° 18-4337	A	SOLE 12 mm	4	3,5x10	V1 n° 45725	Genie 3mm V10088	ACIER	59	50	80	10	/	6	
T	Sofrane	MIFER-4 n° 18-4338	A	SOLE 12 mm	4	8X9	V1 n° 45725	Genie 3mm V10088	ACIER	35	75	80	5	/	8	
L	Longitudinale Compressional wave	T	Transversal Shear wave	Q	Quartz Quartz	TB	Titanate de baryum Baryum titanate	A	Autres Other	PE	Point d'urgence Offset probe	Z0	Zone morte Dead zone			
<b>CONCLUSION DE L'EXAMEN / Examination results</b>																
ECART PAR RAPPORT AU MODE OPERATOIRE : Avec <input type="checkbox"/> Sans <input checked="" type="checkbox"/> Détails : _____																
Déviations from the test procedure																
COMMENTAIRES / Comments: Aucune indication notable n'a été détectée suivant la méthode d'examen mise en oeuvre.																

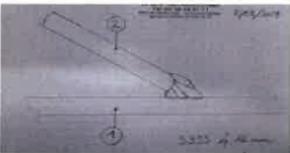
<b>Contrôle réalisé par :</b> Examination by:		<b>Vérification réalisée par * :</b> Verification performed by *:		<b>Validation - Approbation * :</b> Validation - Approval:	
Nom - Prénom Certification Date Visa		GAUTIER Thibaut N° CIFM BO2-021180 11/04/2019		<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <span style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: small;">Coordonnée - action</span> </div>	

Stage : Technologie

© Cetim 2019, toute reproduction

Réf : T46

# PV UT

 <b>TENE</b>		<b>PROCES-VERBAL D'EXAMEN PAR ULTRASON COMPACTE</b> ULTRASONIC TESTING REPORT OF COMPACTNESS		<b>Rapport n° :</b> 190490 UT Indice de Révision : 0 En date du : 11/04/2019
<b>CLIENT / Customer:</b> CEM		<b>REFERENCES DE L'OBJET / Object references</b> 233457		
<b>DATE &amp; LIEU D'INTERVENTION</b> Examination Date and Place: 11/04/2019 sur le site de Metal Control situé à Meaux (77)		<b>INTERPRETATION Selon</b> Results according: NF EN ISO 11666		<b>NIVEAU QUALITE</b> Quality lev. Niveau 3
<b>IMPLANTATION GENERALE / General Location</b>				
<b>Schema vue en coupe</b>				
				
<b>Vue de dessus</b>		<b>Vue de coté</b>		
				
<b>RESULTATS / Results</b>				
<b>Absence Indication Notable:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		<b>Liste des Indications relevées selon Report ci-dessus</b> <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non		
<b>Absence de Délaminage</b> <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non				
<b>OBSERVATIONS / Observations</b>				
<b>COMMENTAIRES / Comments:</b> Aucune indication notable n'a été détectée suivant la méthode d'examen mise en oeuvre.				

	<b>Contrôle réalisé par :</b> Examination by: GAUTIER Thibaut N° CIFM 802-021180 11/04/2019 	<b>Vérification réalisée par *</b> Verification performed by:  	<b>Validation - Approbation *</b> Validation - Approval:  
<b>Nom - Prénom</b> <b>Certification</b> <b>Date</b> <b>Visa</b>		*Contrôle selon	*Contrôle selon

Stage : Technologie

© Cetim 2019, toute reproduction, t

Réf : T46



# PV PT

 <b>RAPPORT D'EXAMEN PAR RESSUAGE</b> <i>Die penetrant inspection report</i>					MC/190490		
Repère d'identification (Identification mark)	Repère éprouvette (Sample mark)	N° de coulée (Heat number)	Nuance annoncée (Supposed grade)	Nature échantillon (Type of sample)	Soudé (Welded)	Référentiel (Standard)	
233457	457	/	S355	Angle ép 12 mm	X		
<b>MODALITE DE L'ESSAI</b> (TESTING PROCEDURE)							
ISO 3452-1 (2013) + ISO 23277 Niveau 1 (2015)							
<b>PRODUITS</b> (PRODUCTS)							
Produits (Products)	Marque (Brand)	Type (Type)	N° Lot (Batch number)	Application (Application)			
Solvant	SREM	S 190	L140828 - 08/2019	Projection			
Pénétrant	SREM	P 125	L150521 - 05/2020	Projection			
Révélateur	SREM	R 175	L151108 - 11/2020	Projection			
<b>PARAMETRES</b> (PARAMETERS)							
<b>Solvant :</b>							
Type : Aérosols (Type)	Durée d'application : (Dwell time)	5 min	Séchage : (Drying)	Evaporation			
<b>Pénétrant :</b>							
Type : Coloré / préémulsionné (Type)	Durée d'application : (Dwell time)	20 min	Elimination : (Elimination)	Eau / Eponge / Chiffon sec			
<b>Révélateur :</b>							
Type : Liquide (Type)	Interprétation : (Interpretation)	5 à 30 min	Intensité : (Intensity)	> 1000 Lux			
<b>CONDITIONS D'EXAMEN</b> (CONDITIONS REVIEW)							
Etendue du contrôle : (Extent of inspection)	100%	Zones contrôlées : (Inspected Area)	ZAT + SOUDURE				
Etat de surface : (Surface condition)	Brut de soudage Brossé	Stade d'examen : (Stage examination)	Final				
<b>RESULTATS</b> (RESULTS)							
Repère éprouvette (Sample mark)	Interprétation / Commentaire (Interpretation / Comment)				Conforme (Accept)	Non-Conforme (Reject)	Sans Objet (Not applicable)
457	Absence de défaut				X		
<b>Commentaires</b> (Comments) :							
EXECUTANT F. VERHAEGHE N°BO2 017004 (Experimenter) 12/04/2019							
RESPONSABLE F. VERHAEGHE N°BO2 017004 (Responsible person) 12/04/2019 INSPECTEUR (Inspector)							

Les résultats énoncés ne concernent que les objets soumis à l'essai. Seul le rapport original peut être déposé en tant que preuve en cas de doute.  
 Pour déclarer au site, le conformisme à la spécification, il se peut être tenu compte de l'incertitude associée au résultat, voir pour les modalités détaillées par [1].

PT 0495-B

Stage : Technologie d

© Cetim 2019, toute reproduction, tra

Réf : T46

