

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 ¹⁾ (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 ¹⁾ (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

σ_c = Contrainte pondérée calculée.

σ_e = Contrainte à la limite d'élasticité conventionnelle.

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

$\Delta\sigma_a$ = Étendue des contraintes admissibles à 2×10^6 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 % ^{1) 2) 3)}	> 50 % ¹⁾
B	100	—	> 10 % ⁴⁾
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.

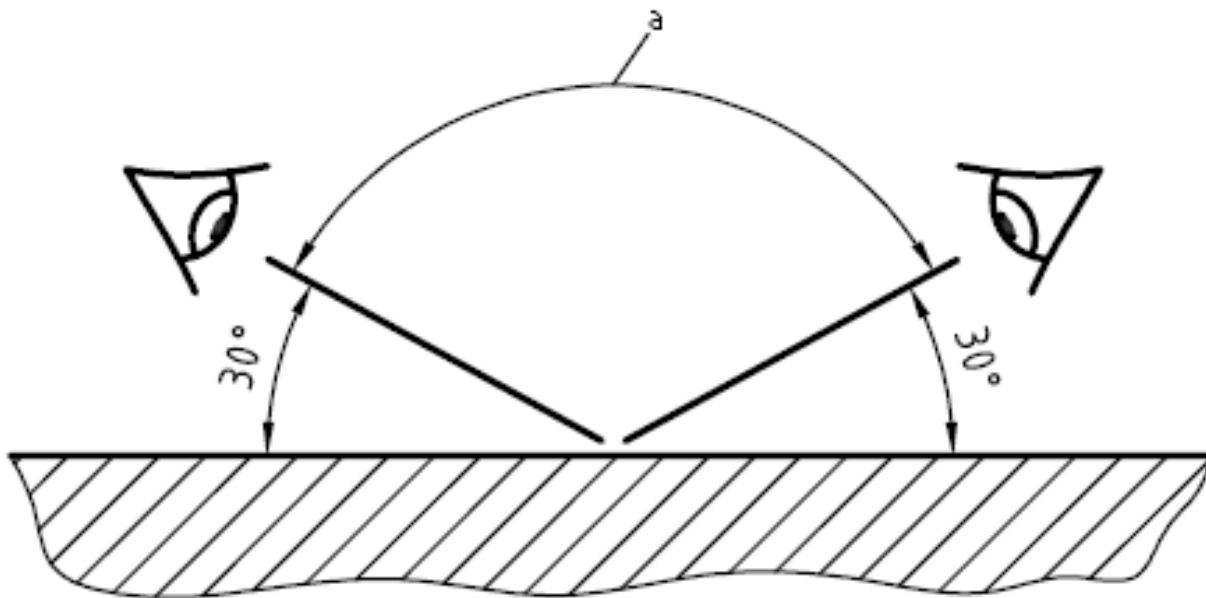
👉 Guide pour les CND ultérieurs.

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 souder

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.

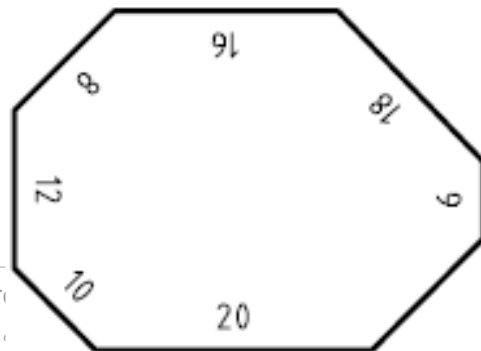
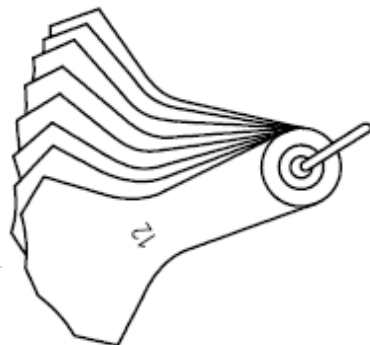


Calibre pour soudures avec pied à coulisse

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°, 70°, 80° et 90° 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 souder

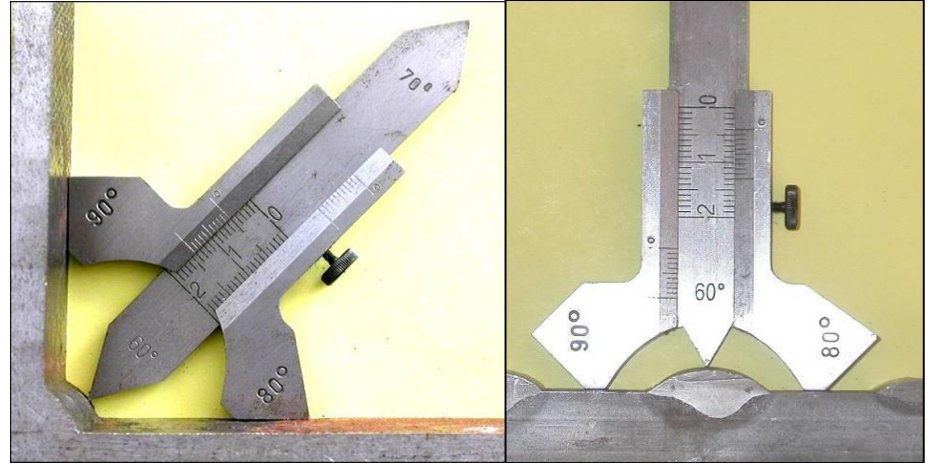
Mesurage de sept valeurs de gorge de cordons d'angle avec un angle inclus de 90°.

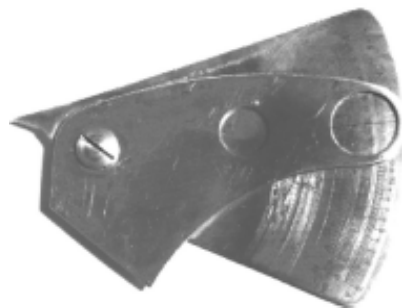
Méthodes de surface

Contrôle Dimensionnel

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

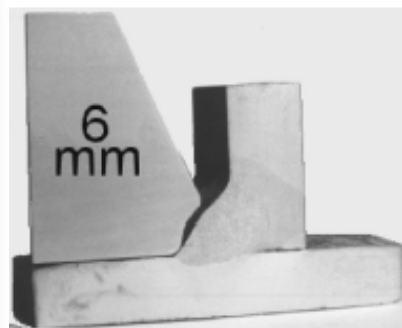
Utilisation de calibre, mètre, rapporteur, cale d'épaisseur, échantillons visio-tactiles





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

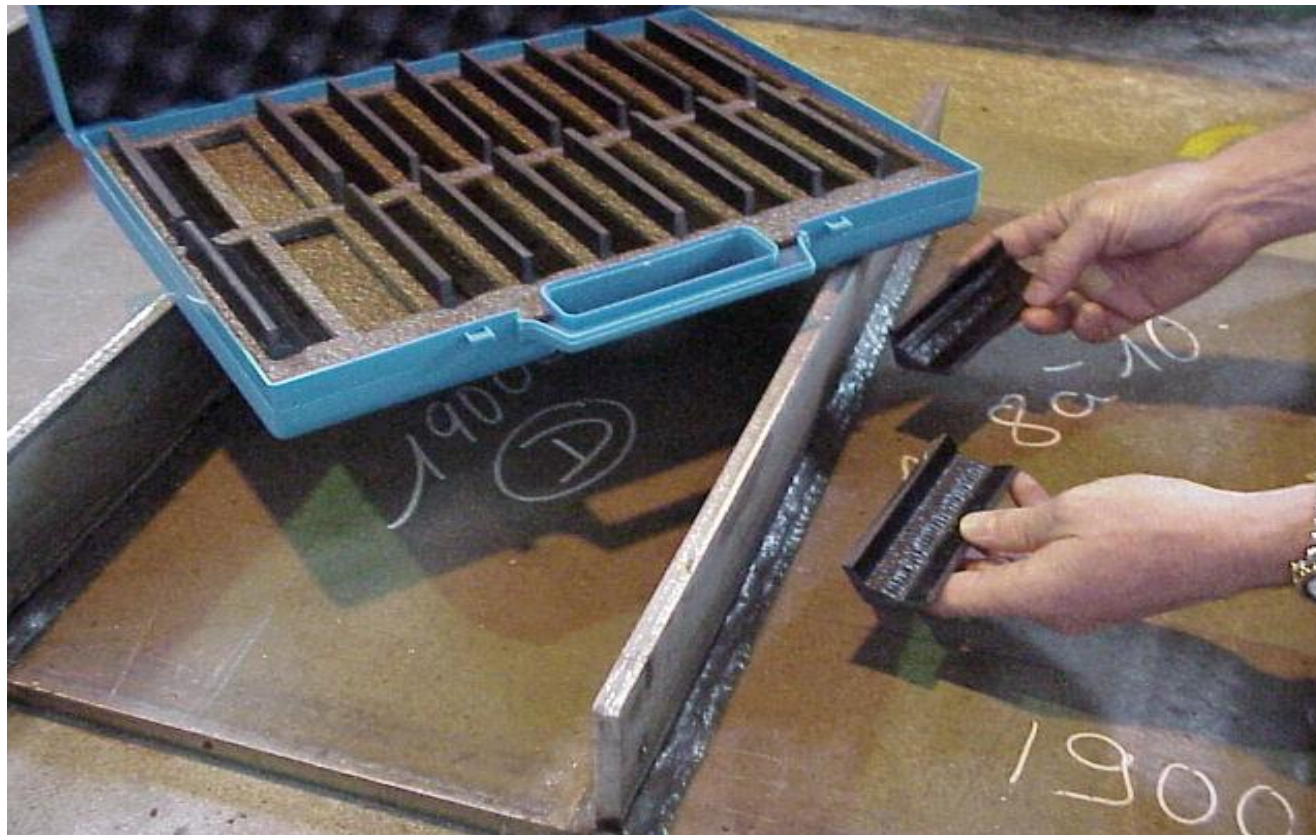
Mesurage de la largeur des écartements.



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 :

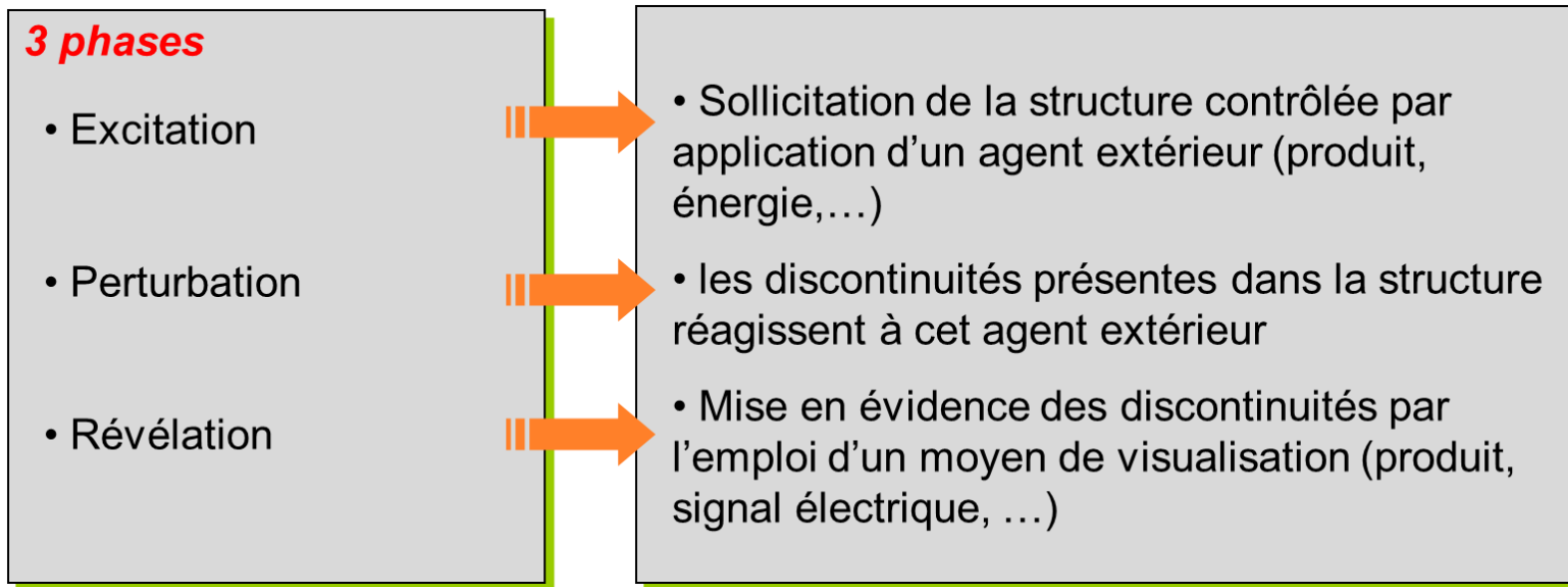
Mettre en évidence la présence de discontinuités (défauts) dans la zone soudée en utilisant l'influence de celles-ci sur une propriété physique



- 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>
<i>Examen visuel</i>	Rayonnement visible. Source de lumière blanche ou monochromatique.	Œil et aides optiques telles que loupe, binoculaire, microscope.
<i>Ressuage</i>	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.
<i>Magnétoscopie</i>	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.
<i>Courant de Foucault/MFL/ACFM</i>	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>
<i>Ultrasons</i>	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.
<i>Rayonnements ionisants</i>	Rayonnement électromagnétique de type X, γ , α .	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>
<i>Émission acoustique</i>	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.
<i>Étanchéité</i>	Mise sous vide ou sous pression	Gaz traceur (air, amoniac, Hélium...)

Méthodes de surface

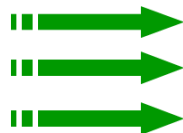
Contrôle visuel

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

- ▶ Régularité, présence de discontinuité

- ▶ Principe :

Excitation
Perturbation
Révélation

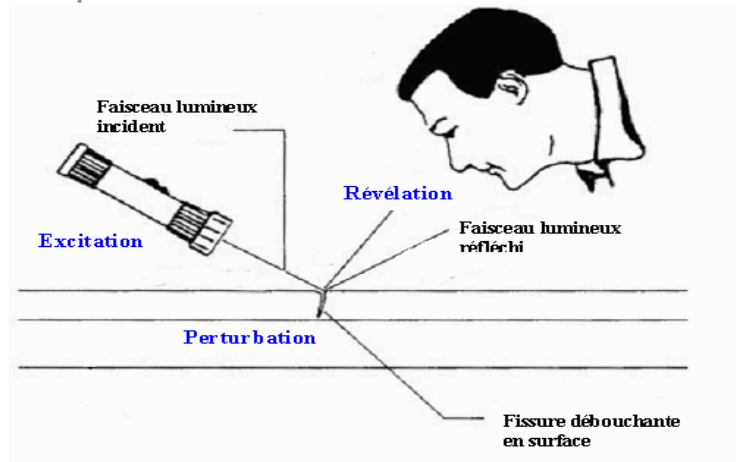


Lumière incidente
Défaut de la surface
Lumière réfléchi

- ▶ 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.



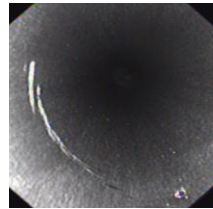
outils éventuels



- ▶ 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° , 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

Contrôle par ressuage

- ▶ Méthode utilisée depuis 1915 avec de l'huile minérale utilisée comme pénétrant et du blanc de Meudon comme révélateur.

- ▶ Principe idem au visuel :



- ▶ Applicable sur assemblages bout à bout et d'angle, sur tous les matériaux non poreux

Attention les défauts recherchés doivent déboucher en surface

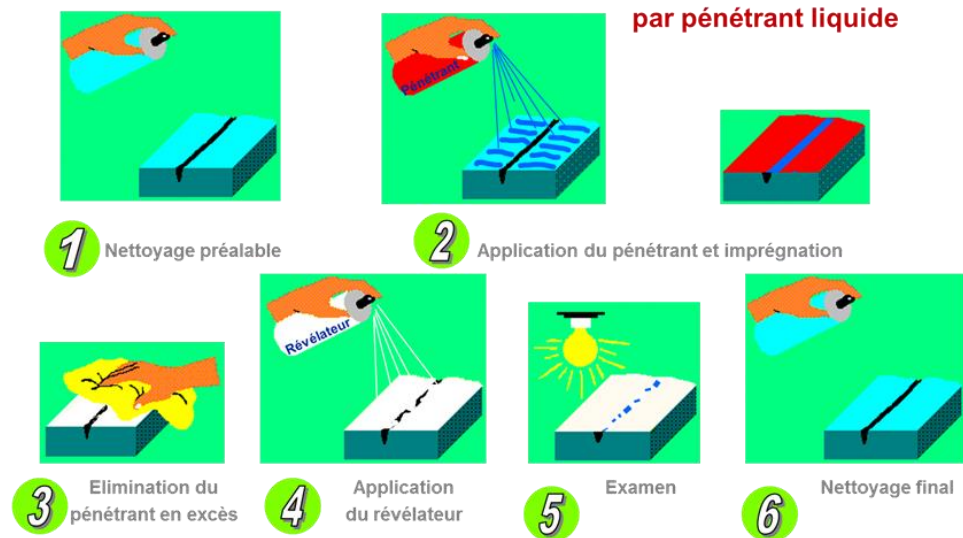


Méthodes de surface

- ▶ 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

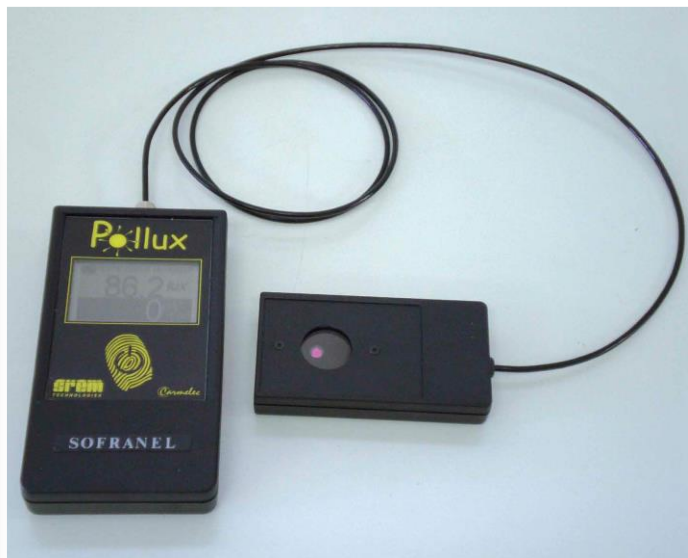
Schéma des principales séquences d'un contrôle



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.

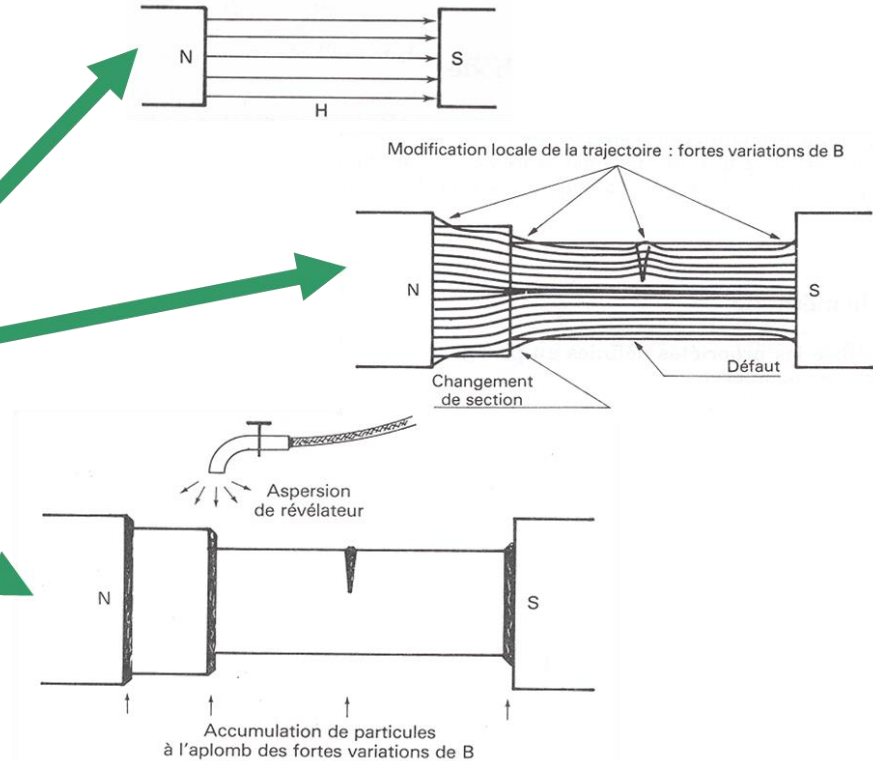
L'orientation du défaut par rapport à la direction du contrôle a une incidence sur la sensibilité de détection.

Méthodes de surface

Principe

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

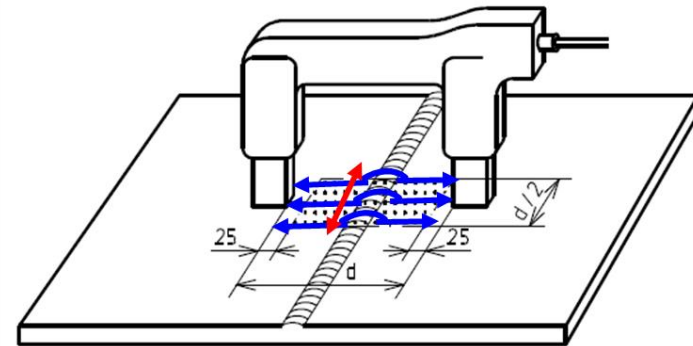
- Phase 1 : Excitation de la pièce
- Phase 2 : Perturbation des lignes d'induction
- Phase 3 : La révélation



Méthodes de surface

Différents types d'outil applicable aux assemblages soudés :

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



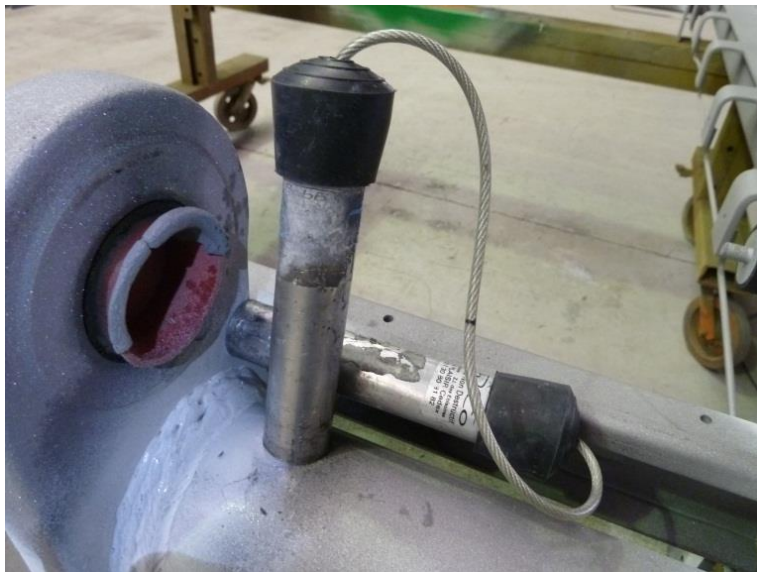
↔ Direction du champ magnétique

↔ 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

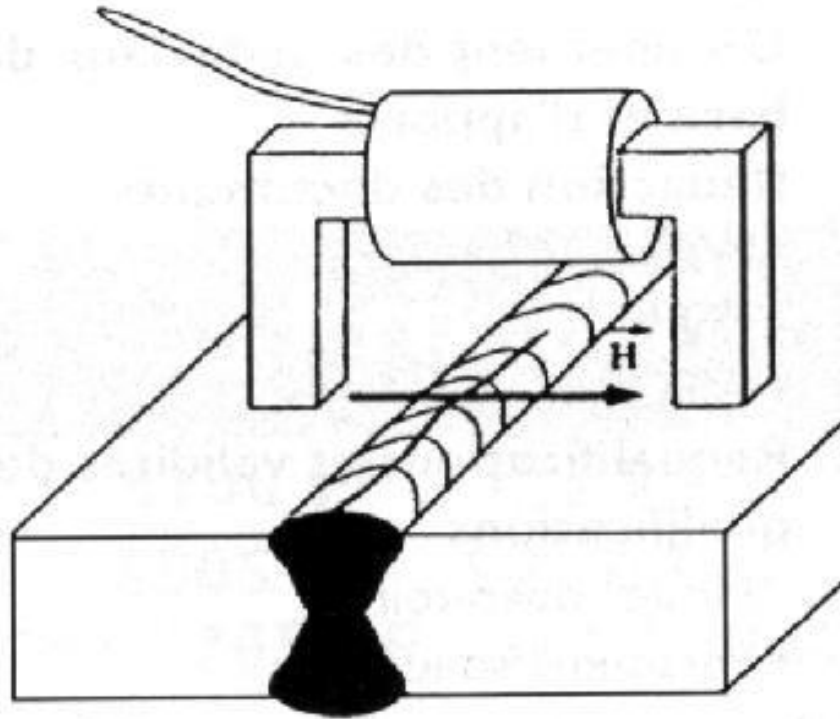
Comme pour le ressuage les produits mis en œuvre peuvent être de 2 sortes :

- ▶ 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).

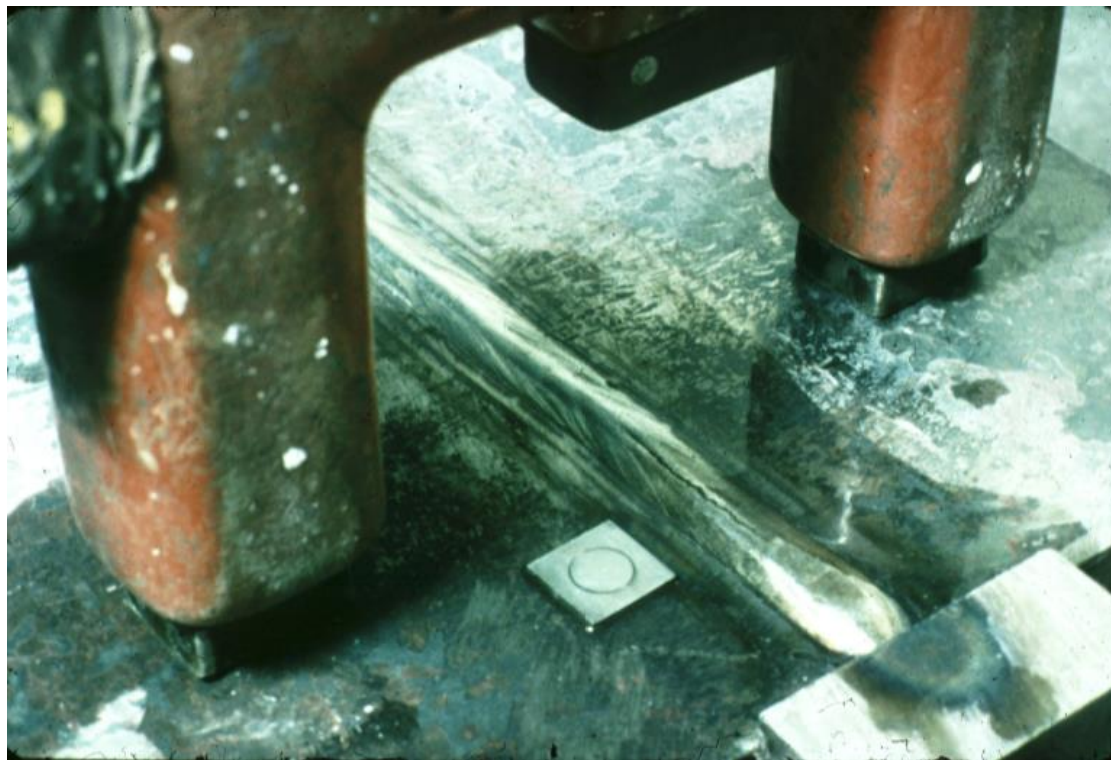
MT par passage de champ



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

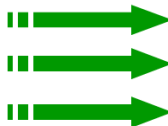
- ▶ Les courants de Foucault sont des courants induits créés dans une masse conductrice, soit par la variation au cours du temps d'un champ magnétique extérieur traversant ce milieu (le flux du champ à travers le milieu), soit par un déplacement de cette masse dans un champ magnétique.

- ▶ Principe :

Excitation

Perturbation

Révélation



Création de courants de Foucault

Défaut de la surface

Analyse d'un signal électrique

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

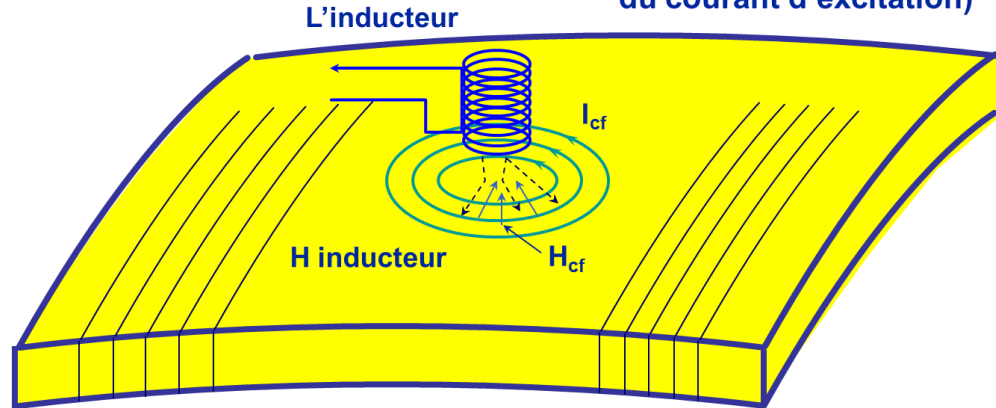
Attention, les matériaux doivent être électriquement conducteur.

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)



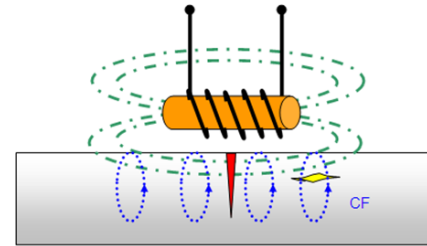
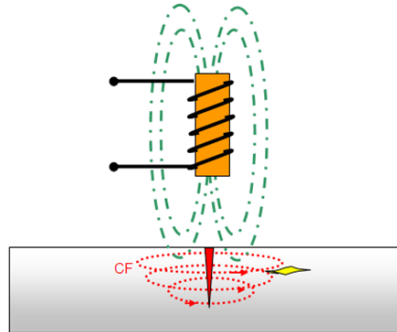
2. LA PERTURBATION
(un courant de Foucault perturbé par un défaut)

Méthodes de surface

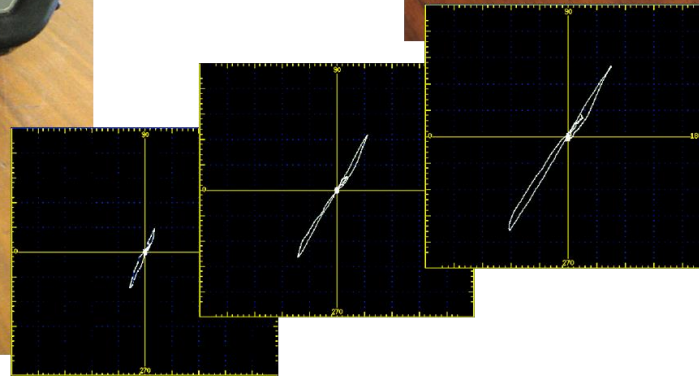
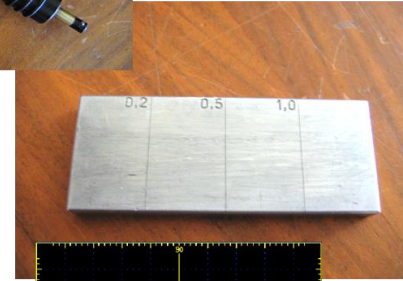
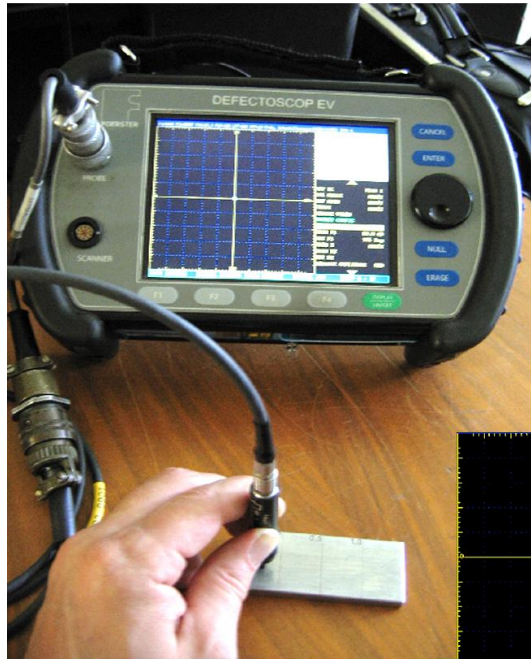
- ▶ Les défauts dans les pièces contrôlées sont détectés grâce aux variations d'impédance de la (ou des) bobine et visualisés dans un plan complexe



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 :

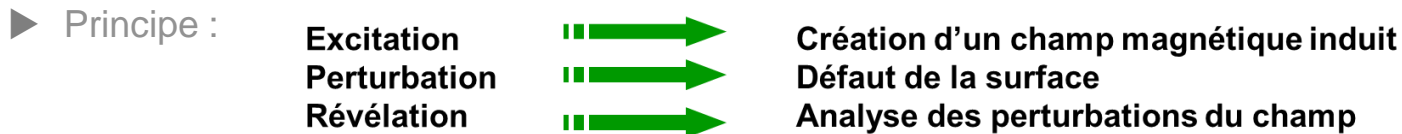
- Recherche de discontinuité plane, fissure, manque de fusion
- Mesure d'épaisseur de tubes, de zones corrodées
- Mesure d'épaisseur de couche, tri de métaux (multicouche)
- Contrôle de profondeur de trempe, cémentation, traitement thermique

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.

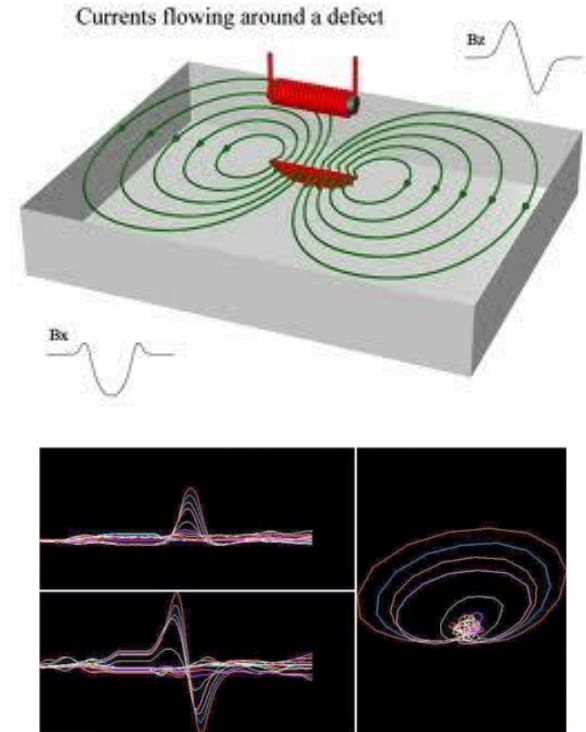
Attention, les matériaux doivent être ferromagnétiques.

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.

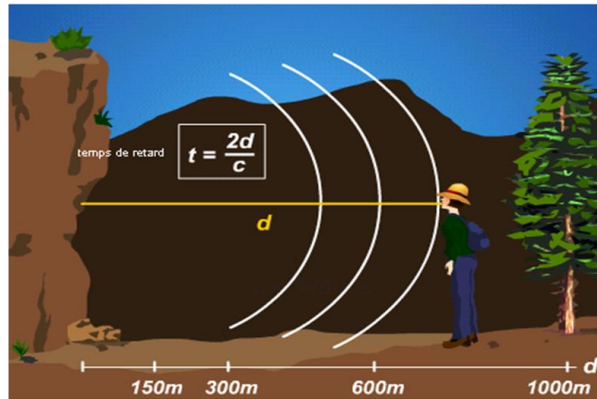
Les assemblages doivent être à pleine pénétration. Des techniques sont en cours de développement pour travailler sur des pénétrations partielles.

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

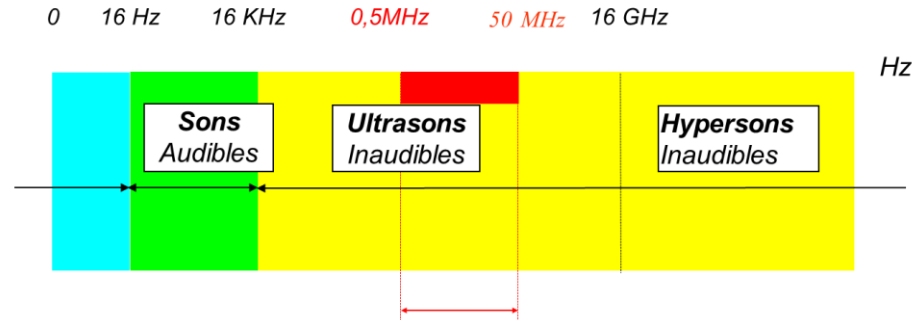
La méthode est sensible à la structure du matériau (structure austénitique limite la mise en œuvre aux épaisseurs > 6 à 8 mm)

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



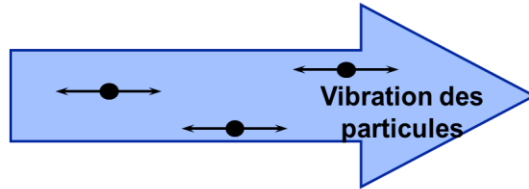
DOMAINE D'UTILISATION DES U.S. POUR LE C.N.D
En pratique 0,5 à 10 MHz

Méthodes Volumiques

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

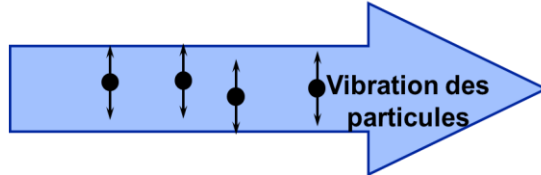
Ondes longitudinales

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

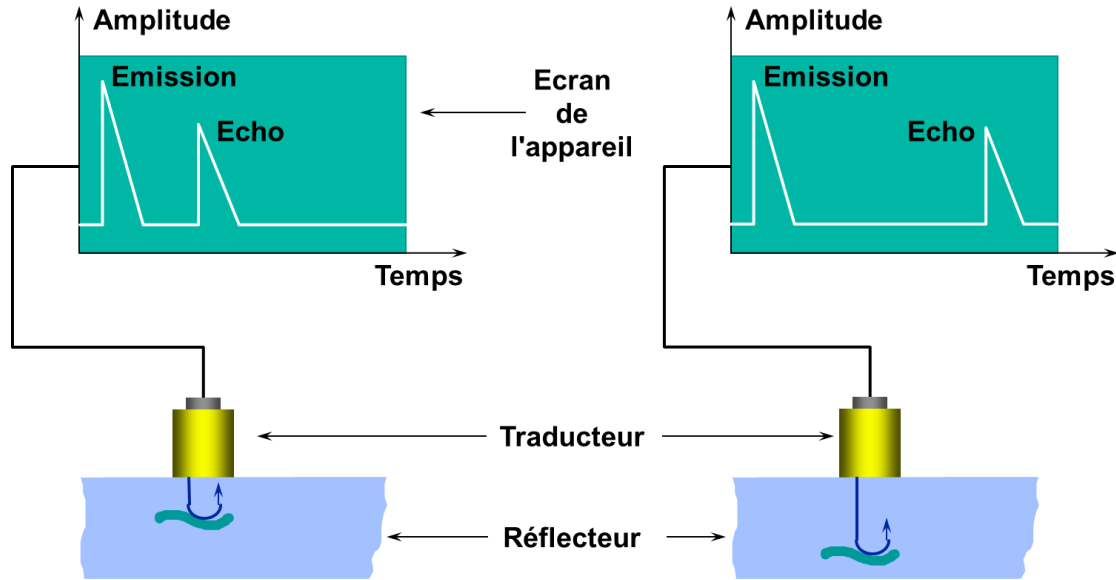


Avec différentes vitesses suivant la nature des matériaux :

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)



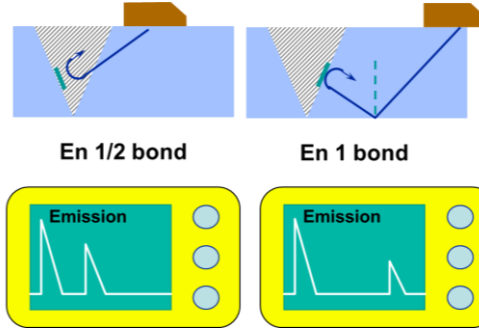
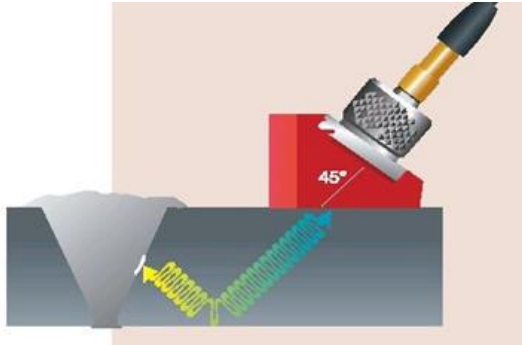
L'écart entre l'écho d'émission et l'écho de retour correspond au temps nécessaire pour que l'onde parcourt la distance aller et retour du palpeur (transducteur) au défaut.

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

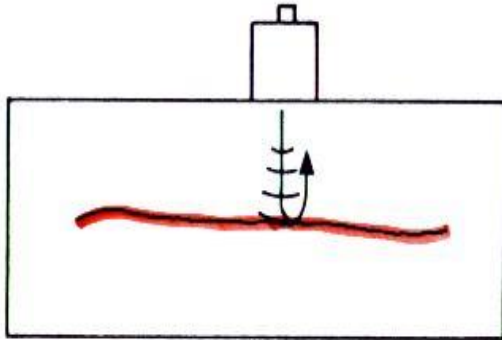
Il s'agit de rechercher les signaux d'échos réfléchis par les discontinuités rencontrées au travers de l'épaisseur. L'orientation du défaut perpendiculairement aux ondes US est nécessaire pour une bonne réflexion de l'onde donc de détection du défaut.

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)

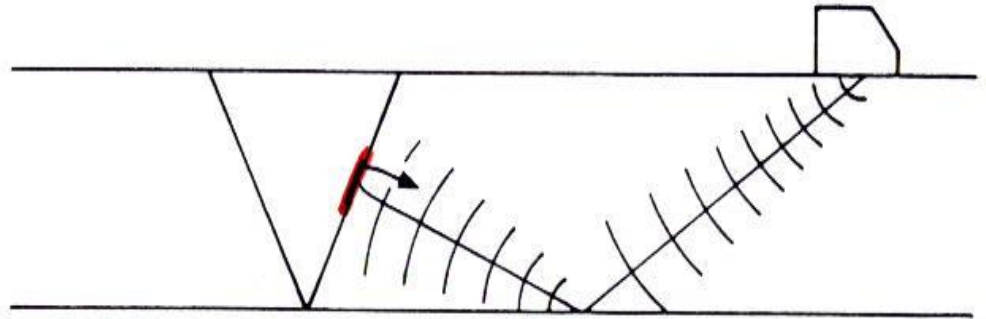
Les discontinuités à proximité des surfaces peuvent ne pas être détecté, il est nécessaire de croiser avec une méthode surfacique

Ultrasons



Ondes

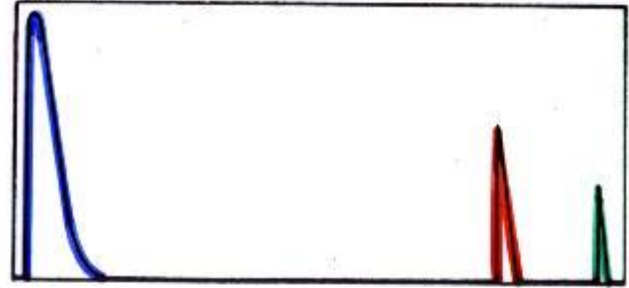
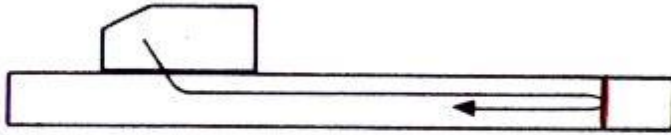
longitudinales



Ondes

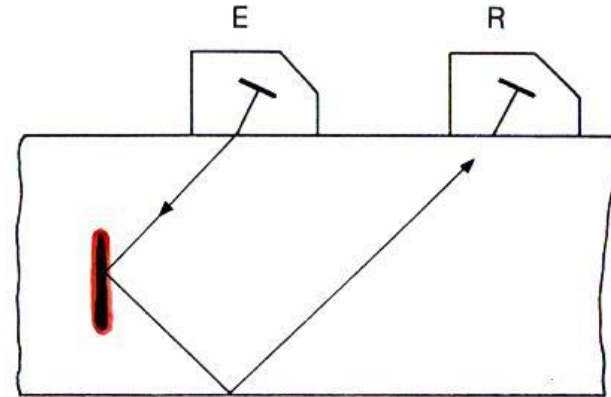
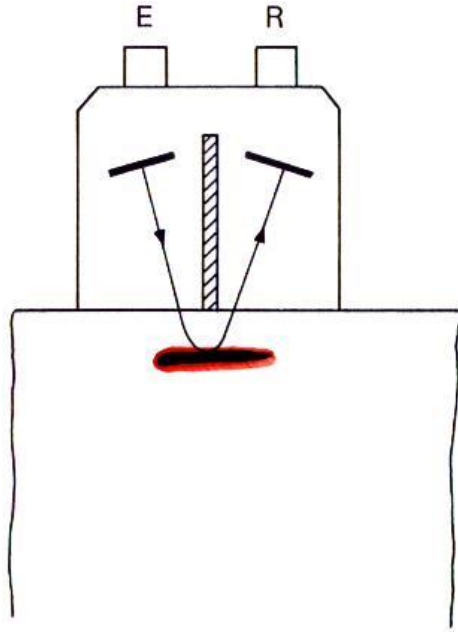
transversales

Ultrasons



Ondes de surface (Lamb)

Ultrasons



Transducteur émetteur/récepteur

Méthodes Volumiques

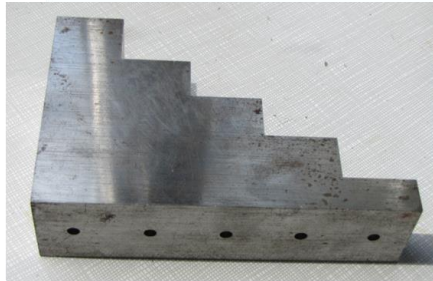
- ▶ Etalonnage ou calibrage nécessaire pour caler les paramètres à mettre en œuvre, utilisation de cales dédiées diverses :



Bloc n°1 selon ISO 2400



Bloc n°2 selon NF EN ISO 7963

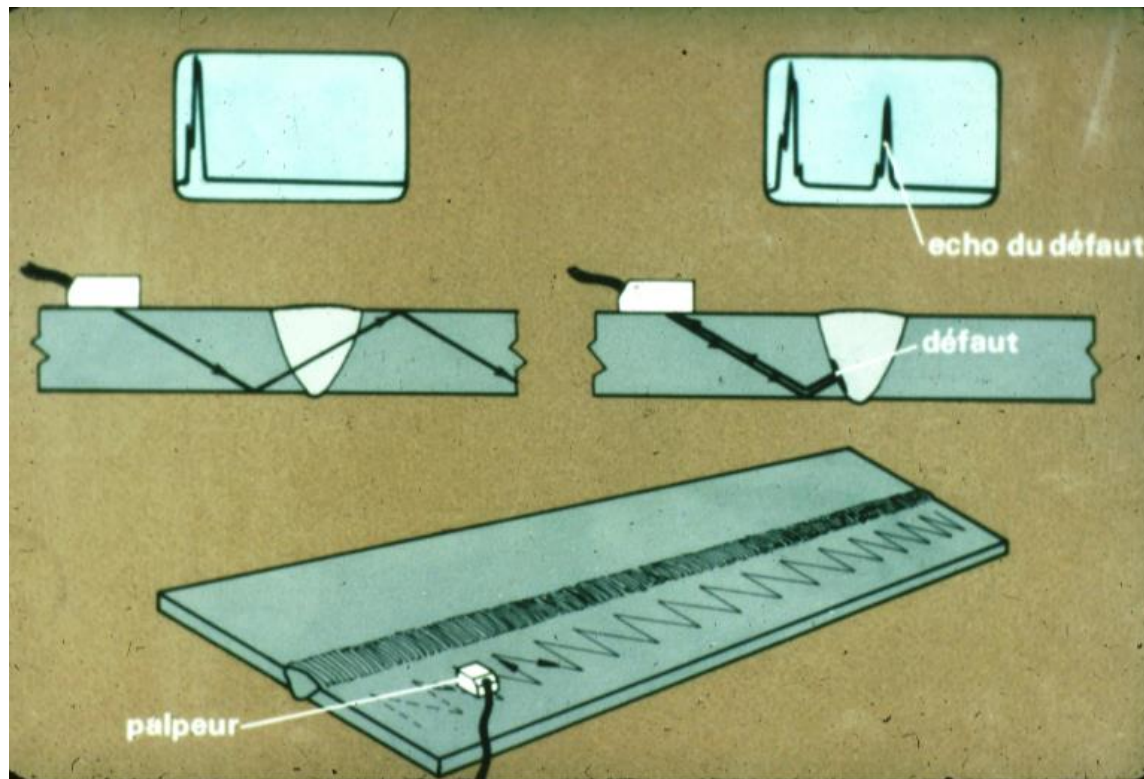


Cale à gradins avec trous à fond plat (TFP)



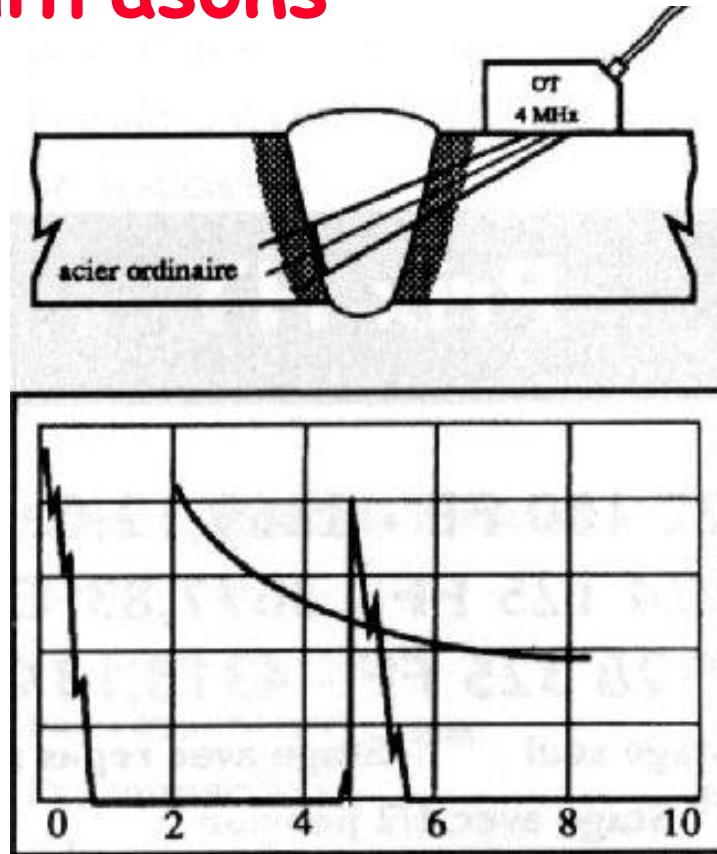
Cale IS avec trou percés latéralement

Protocole ultrasons



Source PSA

Protocole ultrasons

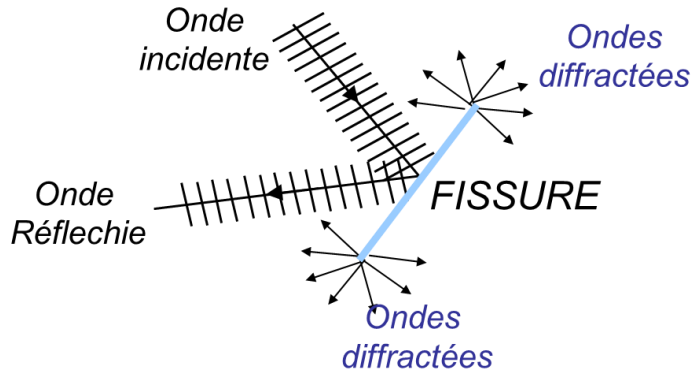


Méthodes Volumiques

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»

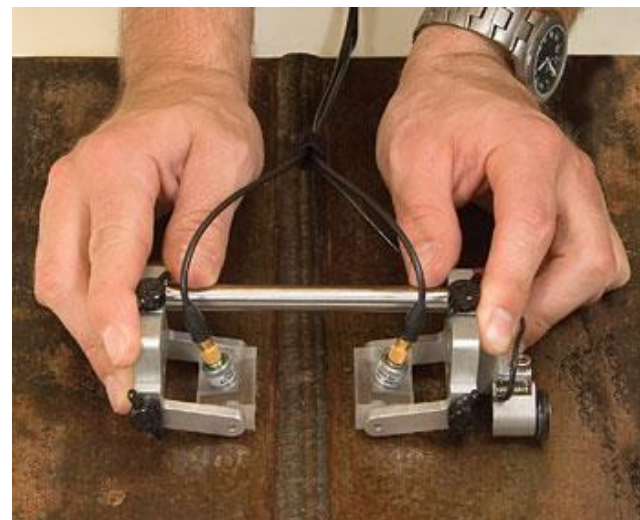
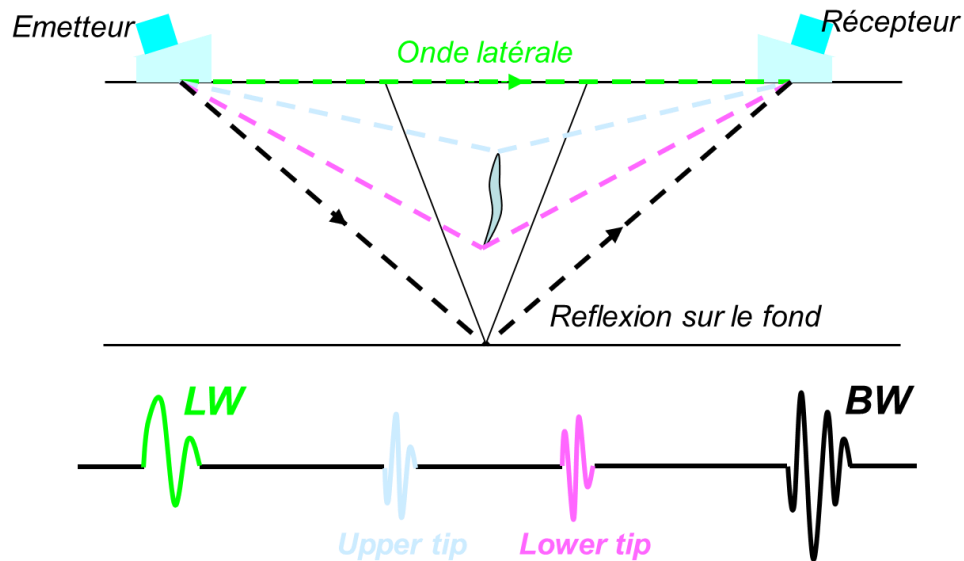
- ▶ Cette méthode permet de récupérer les ondes diffractées au extrémités d'un défaut



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

Méthodes Volumiques

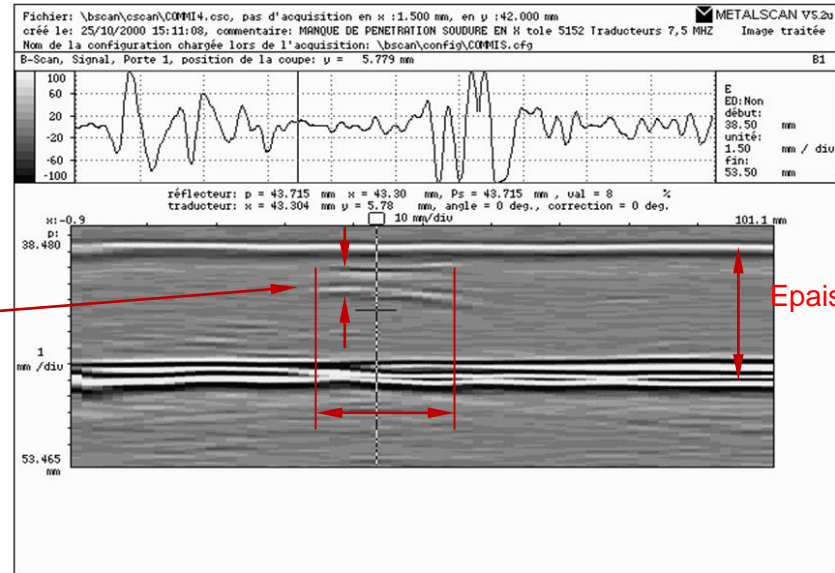
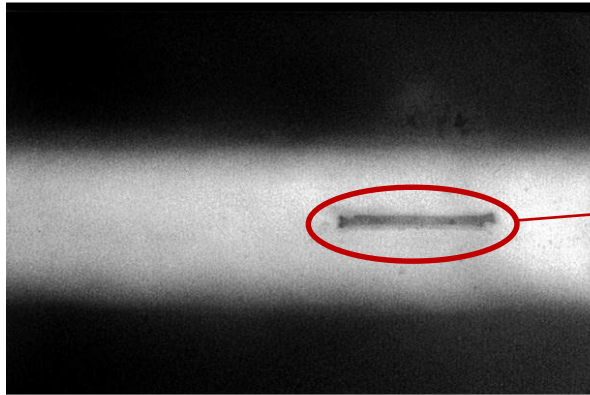
- ▶ Mise en œuvre d'un palpeur émetteur et d'un palpeur récepteur
- ▶ Emission d'un faisceau d'onde au travers d'une tranche d'épaisseur



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

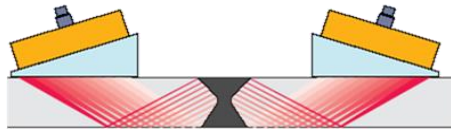
Variante au procédé UT classique = UT Multiéléments (Phased Array)

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

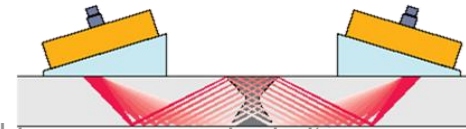
- ▶ Plusieurs petits éléments piézoélectriques (16, 32, 64 ...)
- ▶ Eléments pilotés électroniquement et indépendamment les uns des autres en Émission / Réception
- ▶ Application de lois de retard à chaque voie (Émission / Réception)

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

- ▶ Balayage linéaire



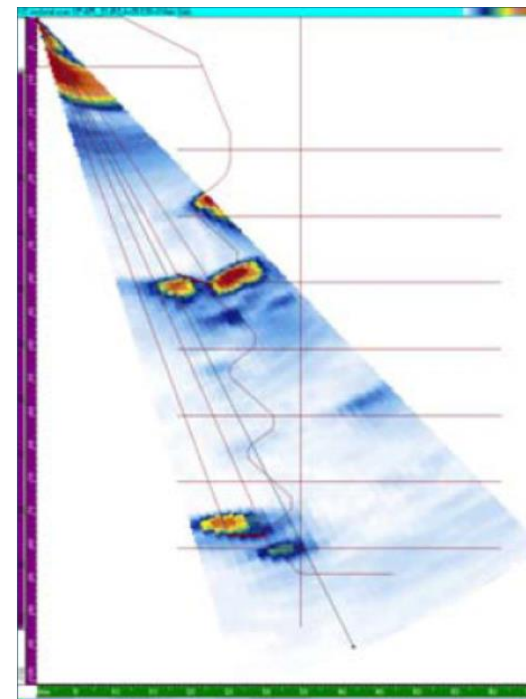
- ▶ Balayage sectoriel de 45° à 70°



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 γ) 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).

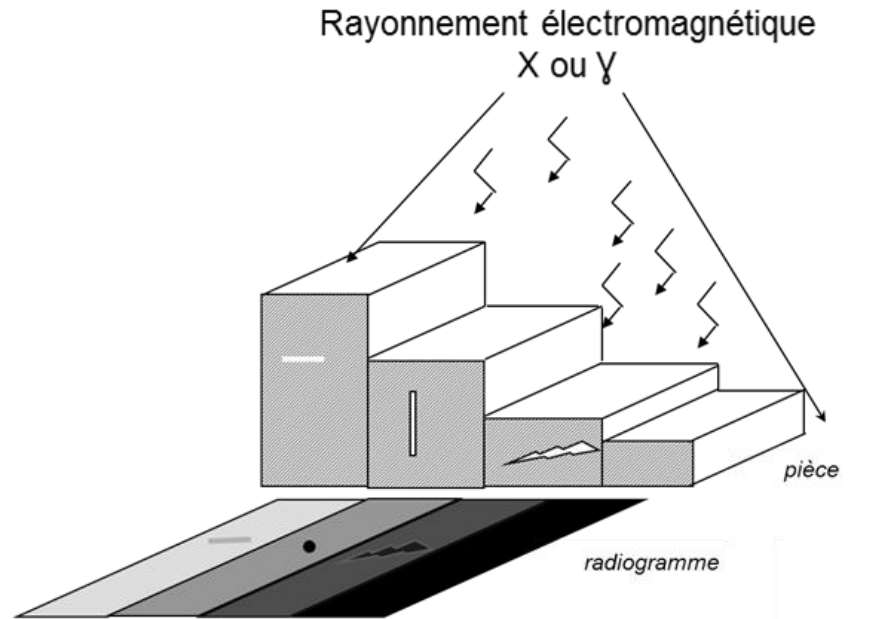
Les assemblages doivent être à pleine pénétration.

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

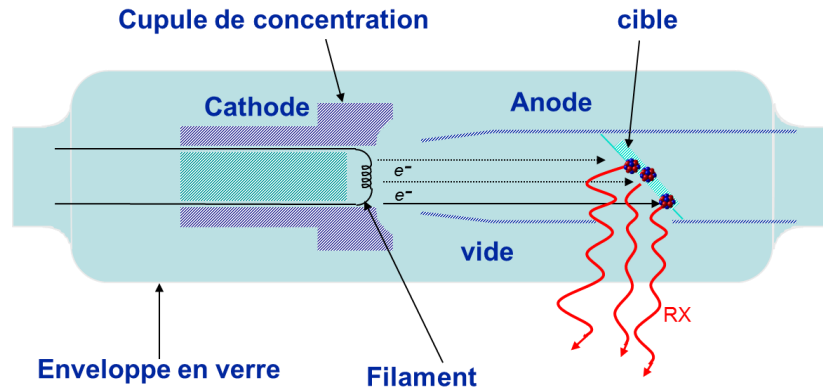
► Les différents types de rayonnement radioactif :

NOM	COMPOSITION	PARCOURS DANS L'AIR	ECRAN	LOCALISATION / UTILISATION	RISQUE
α	Emission d'un Noyau d'hélium (2 protons et 2 neutrons) 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
β	Émission d' 1 électron (β^-) ou 1 positon (β^+)	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)
γ et X	Pas de charge, pas de masse, Rayonnement électromagnétique Le rayonnement γ accompagne une désintégration α ou β	Grand, environ 100m (effet d'atténuation dans la matière)	Atténuateurs: Fer, Pb, béton, eau	domaine des CND par radiographie Produit de fission et d'activation, circuit primaire d'une centrale, déchet	Dangereux à distance (irradiation)
η	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

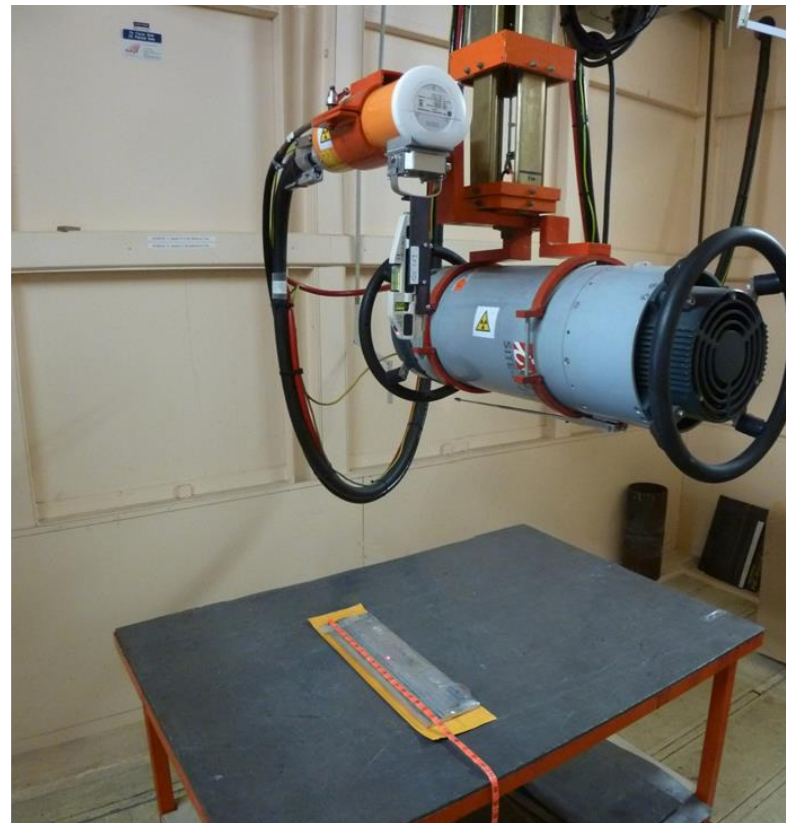
Un générateur permet d'accélérer un faisceau d'électron entre une cathode et une anode. Leur déplacement est stoppé sur une cible, la majeure partie de l'énergie est dissipée par effet Joule (chaleur) d'un côté et par la production de photons X de l'autre



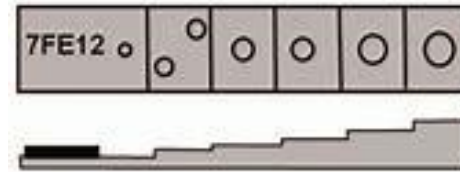
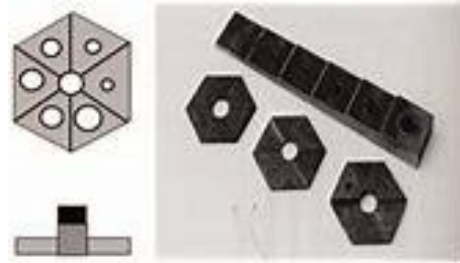
Ce rayonnement X est focalisé au travers d'une fenêtre pour être utilisé à la formation des images radiographiques. Mis en œuvre pour des épaisseurs de 1 à 20 mm.

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



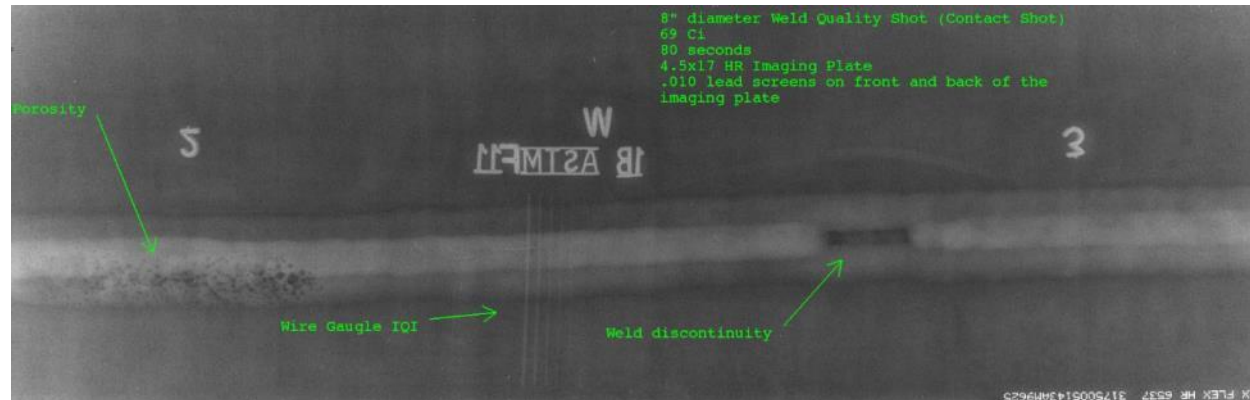
IQI : Indicateur de Qualité d'Image



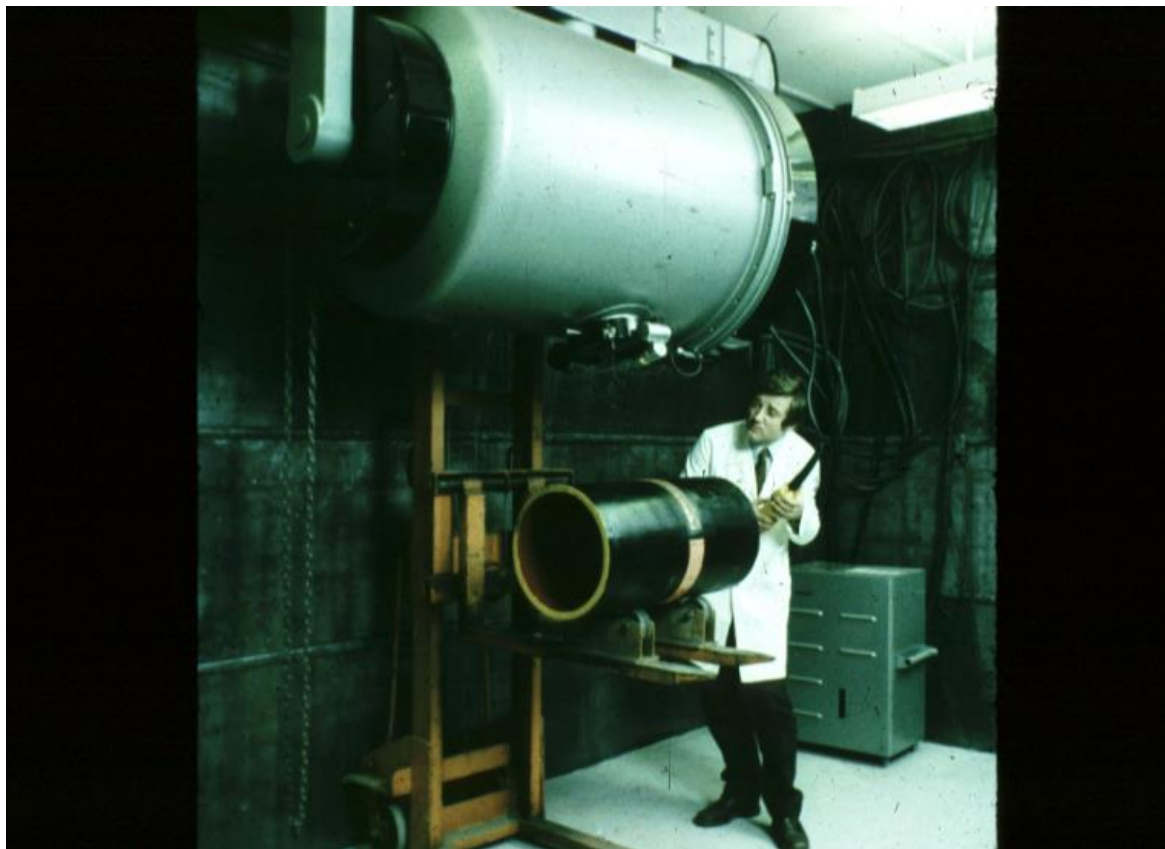
Step/Hole type IQI



Wire type IQI



Accélérateur de particules



Stage : Technologie du soudage

Chapitre : Contrôles non destructifs

Réf : T46

Méthodes Volumiques

Rayonnement γ

Le rayonnement γ 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, γ)
- ▶ 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

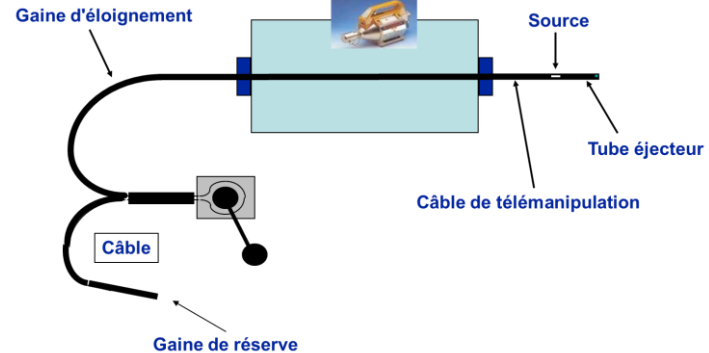
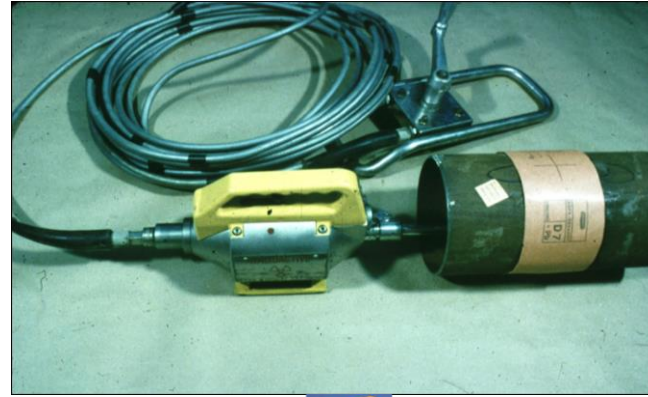
Méthodes Volumiques

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^{192}	74 jours	0,206 - 0,308 0,604 - 0,613	0,5	0,97
Se^{75}	120 jours	0,066 – 0,401	0,203	0,39
Co^{60}	5,3 ans	1,17 et 1,33	1,32	2,56
Cs^{137}	30 ans	0,66	0,35	0,68
Tm^{170}	127 jours	0,084	0,0025	0,0048

Les spectres du rayonnement γ (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 γ 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

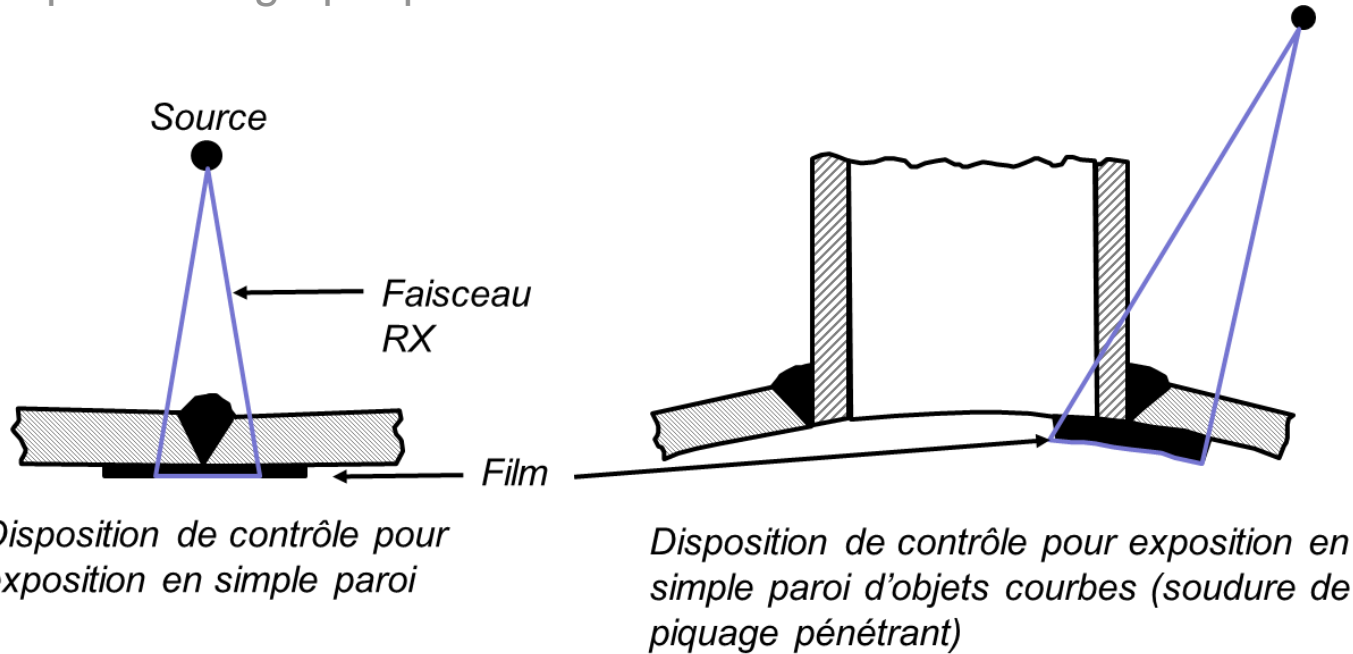
- ▶ Formation d'une image sur le récepteur :
- ▶ Système de radiographie conventionnelle : Le film argentique
 - ▶ Ce film est constitué d'une fine feuille de plastique transparent recouvert sur ces 2 faces par de la gélatine contenant des grains de sels d'argent (généralement du bromure d'argent).
 - ▶ 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 γ , 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).

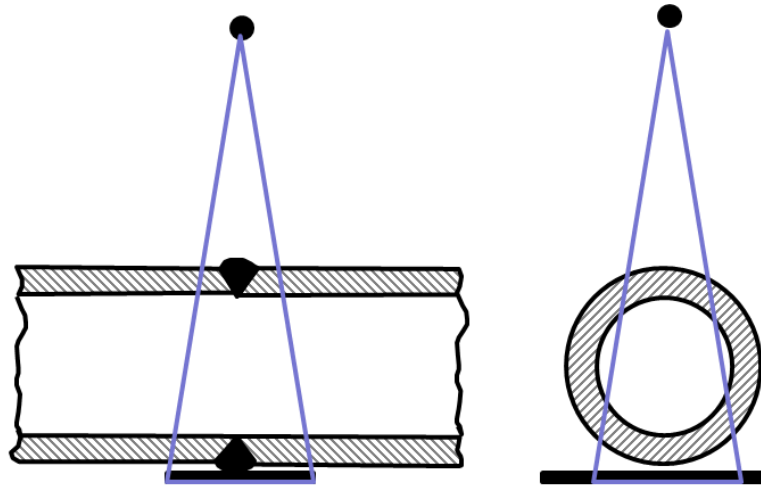
Méthodes Volumiques

► Techniques radiographiques :



Méthodes Volumiques

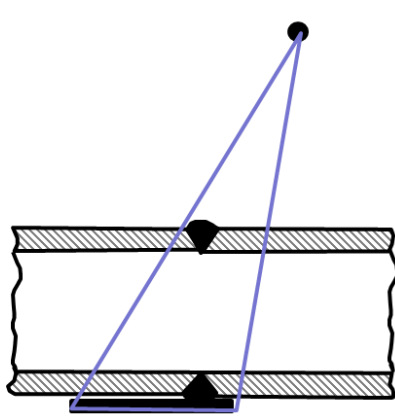
► Techniques radiographiques :



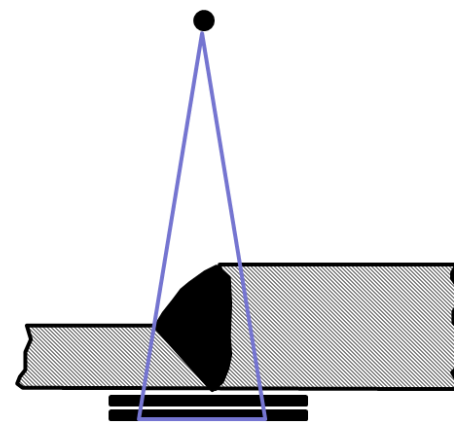
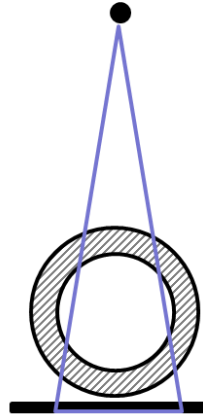
*Disposition de contrôle pour exposition en double paroi
double image d'objets courbes avec interprétation des deux
parois (source et film à l'extérieur de l'objet)*

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)*

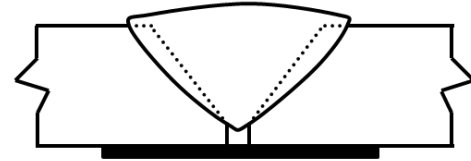
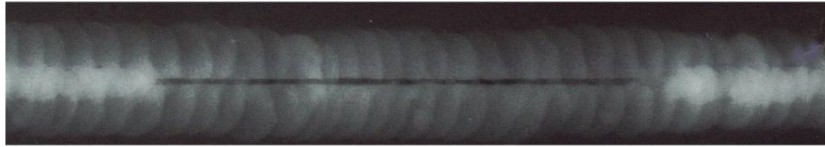


*Technique avec matériaux
d'épaisseur différentes :
technique multi-film*

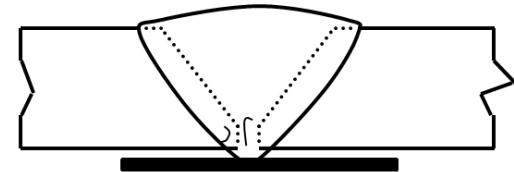
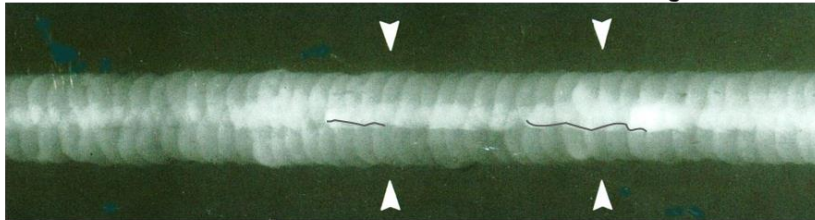
Méthodes Volumiques

► Techniques radiographiques :

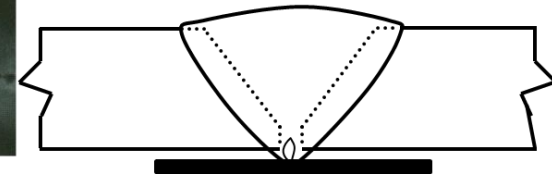
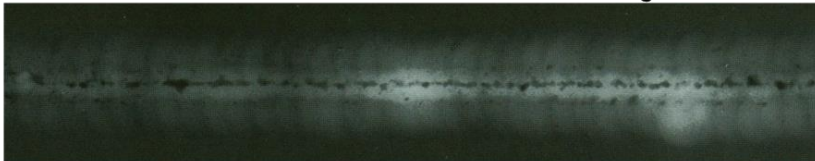
Manque de pénétration



Fissure longitudinale

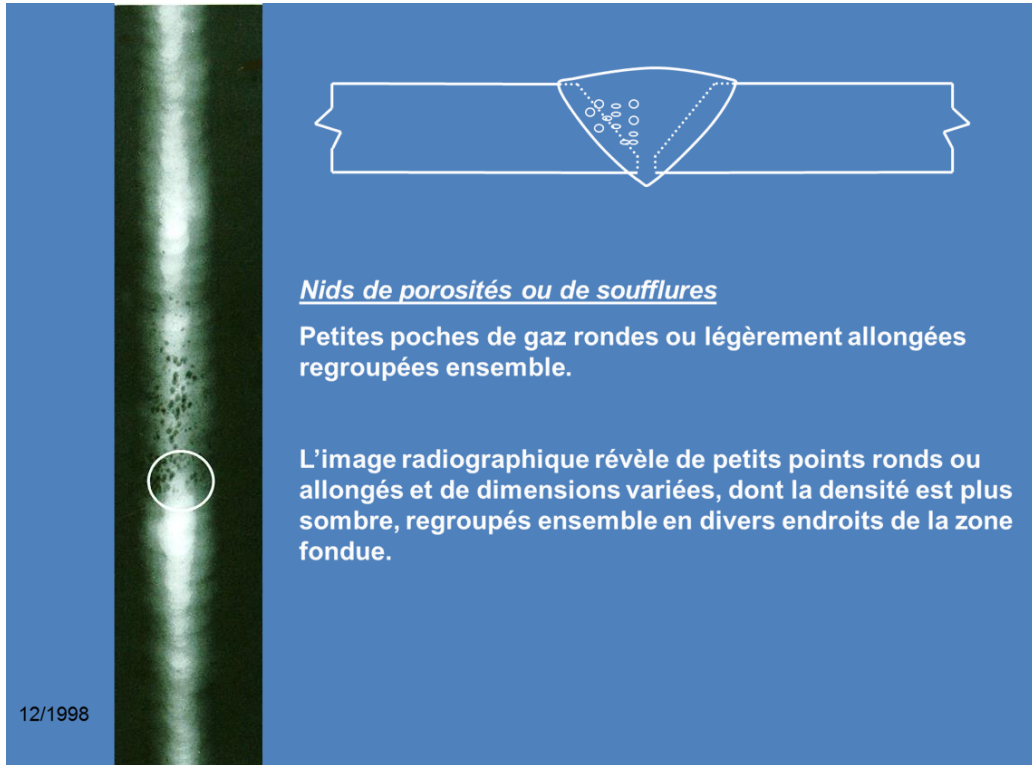


Soufflures alignées à la racine



Méthodes Volumiques

► Techniques radiographiques :



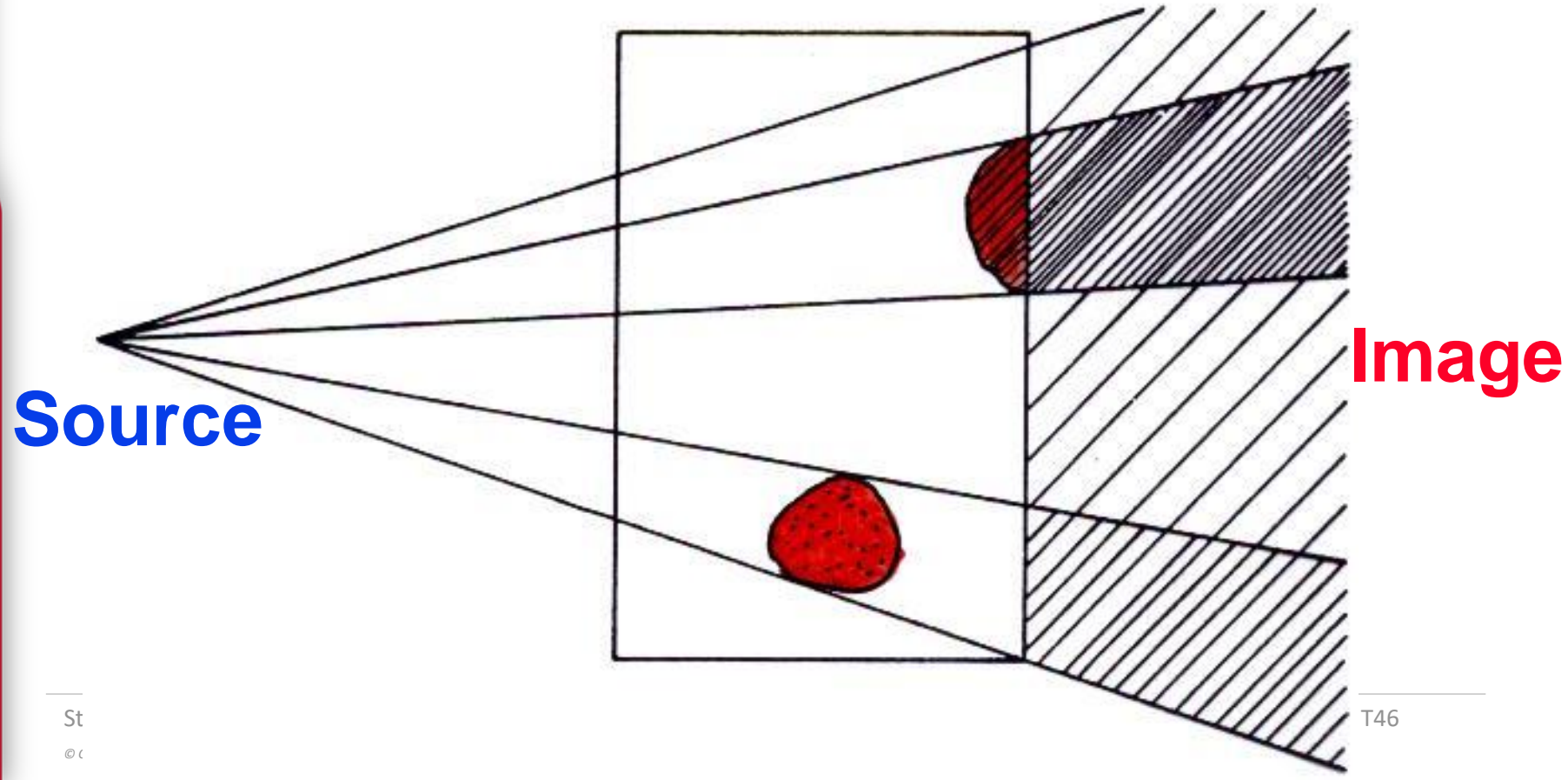
Nids de porosités ou de soufflures

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.

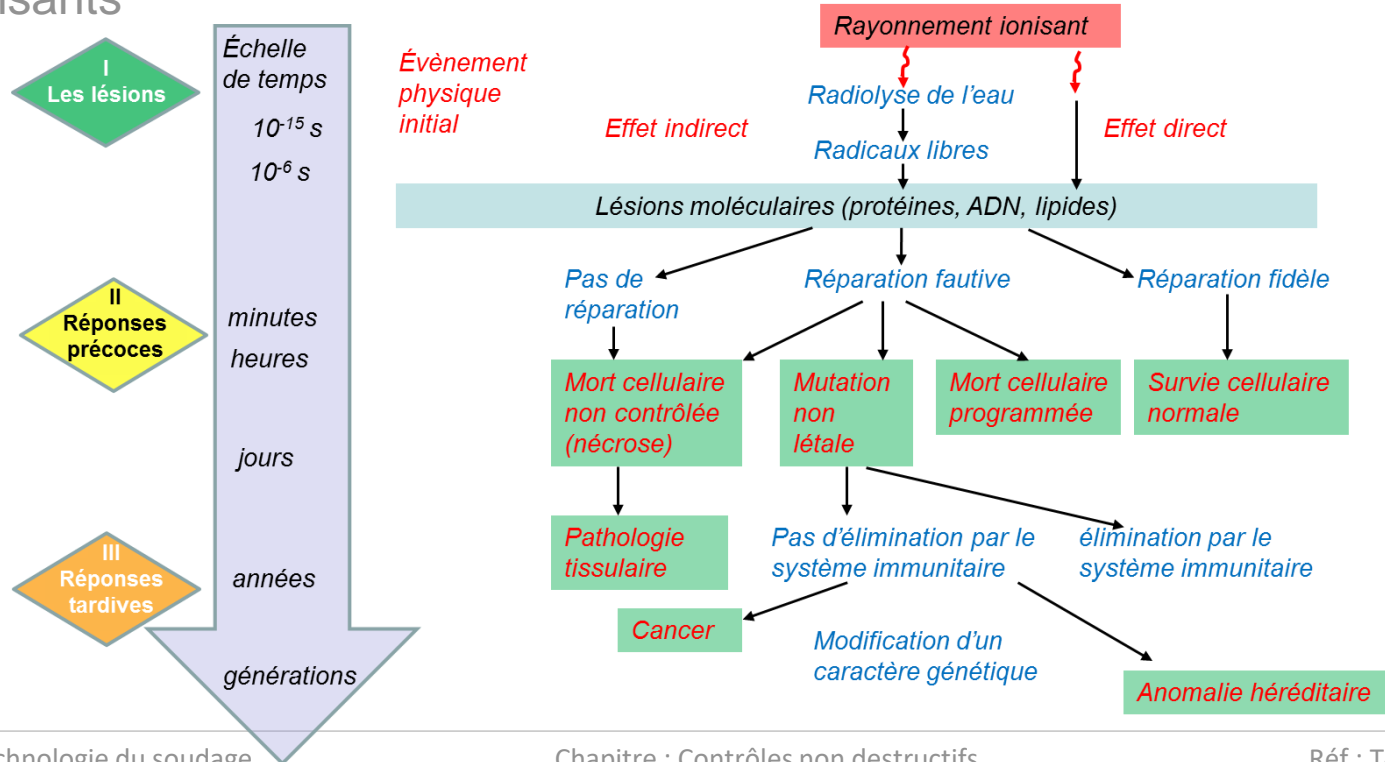
12/1998

Radiographie



Méthodes Volumiques

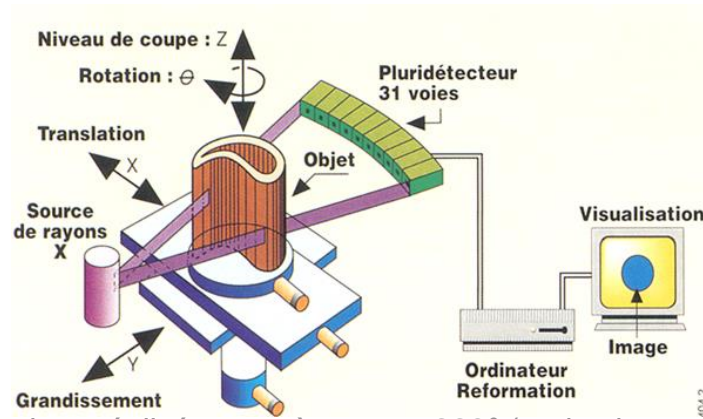
► Problèmes liés à la radioprotection par exposition à des rayonnements ionisants



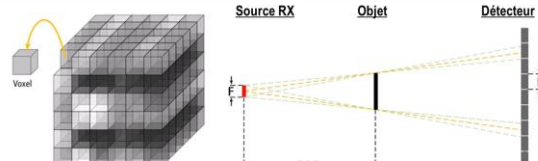
Méthodes Volumiques

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



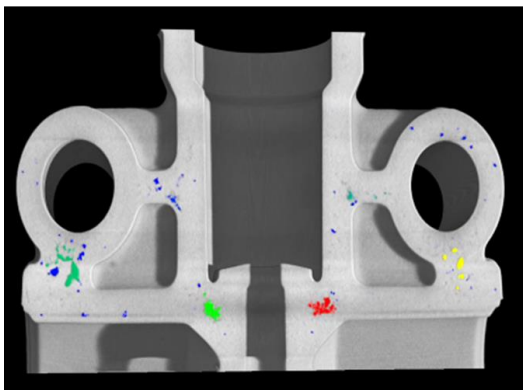
- ▶ Ensemble de projections réalisées pas à pas sur 360° (projection = acquisition), un pas $< 1^\circ$
- ▶ Reconstruction à partir de l'acquisition de toutes les projections, l'objet est découpé en « pixel 3D » (Voxel)



Méthodes Volumiques

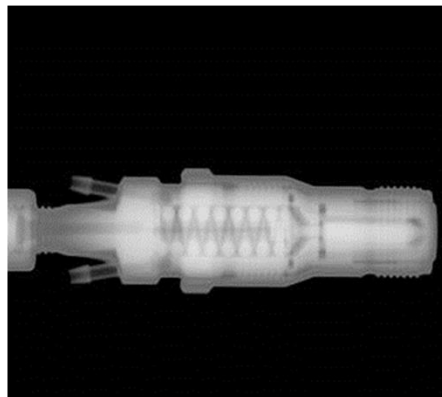
Porosités pièce fonderie aluminium

(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 ondes élastiques transitoires produites par les micro-déplacements locaux des éventuelles discontinuités



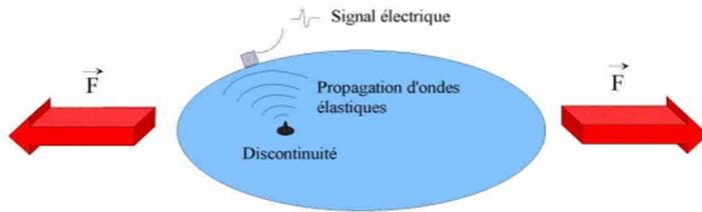
Permet un contrôle global de la structure (volumique), contrôle dynamique en temps réel des discontinuités évolutives sous l'action de la contrainte

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

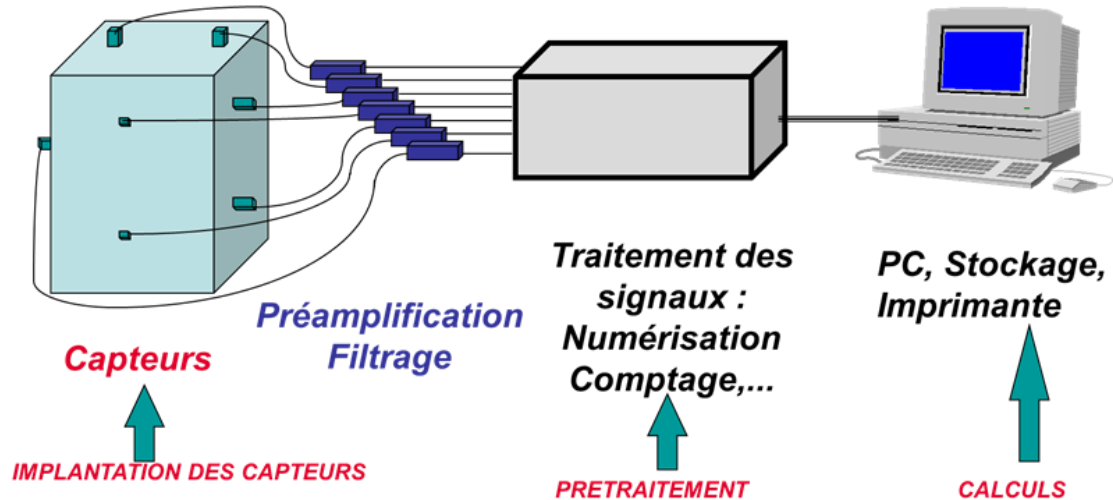
Méthodes globales



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

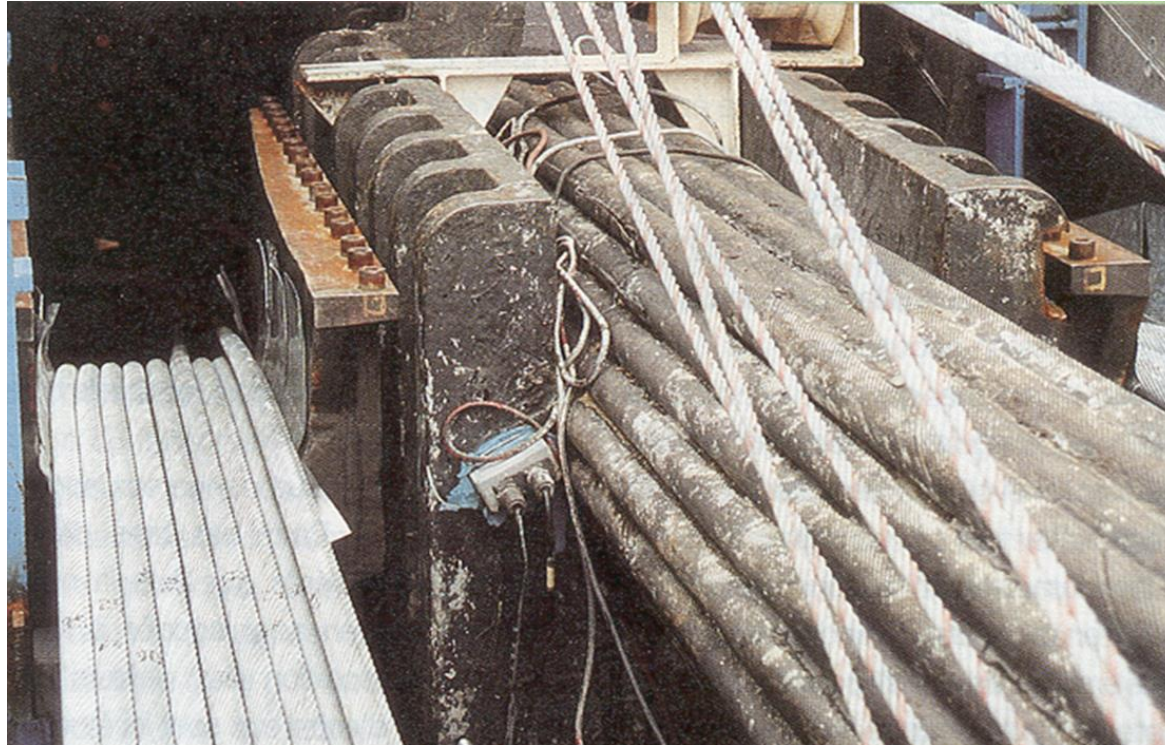
Méthodes globales



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

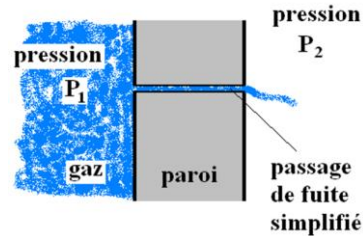
Emission acoustique



Méthodes globales

Contrôle d'étanchéité

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



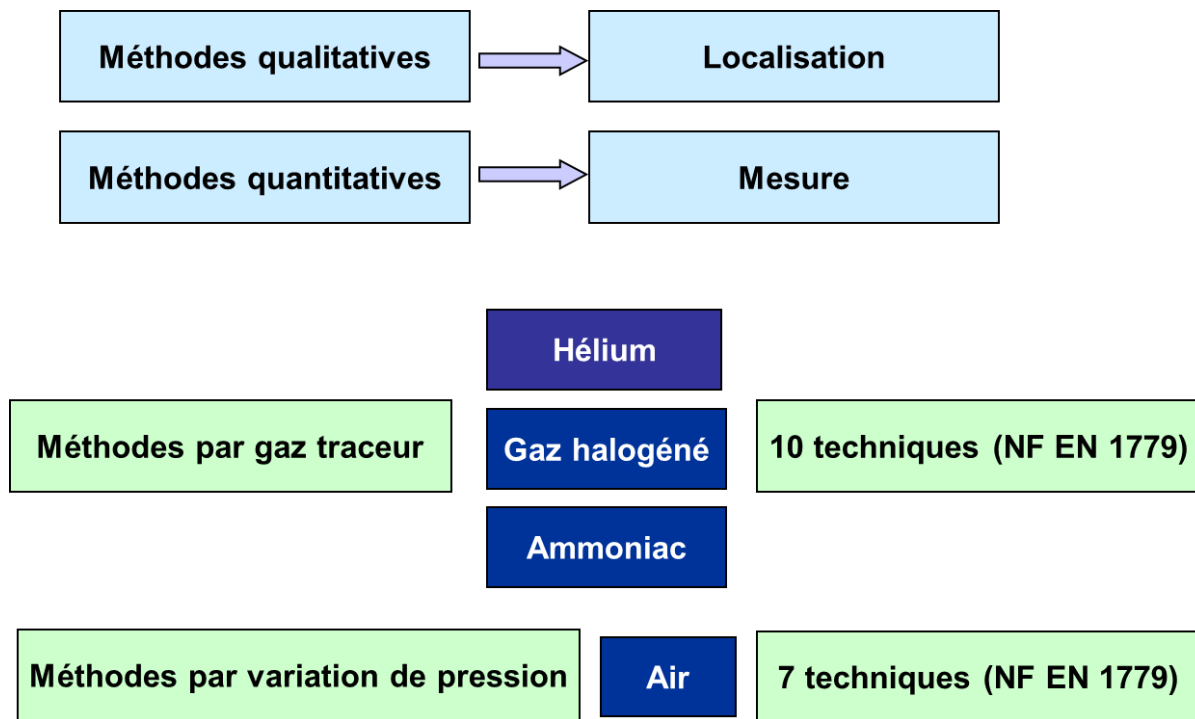
- ▶ Unité internationale : Pa.m³/s
- ▶ Unités usuelles : atm.cm³/s et mbar.l/s
- ▶ Un flux de 10⁻⁴ atm.cm³/s correspond à l'échappement dans l'eau d'une bulle d'air de diamètre 2 mm toutes les 40 secondes.
- ▶ Une fuite de 10⁻¹⁰ atm.cm³/s correspond à un écoulement d'air dans 1 cm³ sous 1 atm en environ 310 ans.

Méthodes globales

Cas des gaz						
Fuite		Fuite	Capacité de référence	Temps	Poids d'H ₂ gazeux	volume
Pa.m ³ /s		atm.cm ³ /s			mg	cm ³
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 ₂ O gazeux	volume
cm ³ / h		l / s			g	cm ³
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 10⁻⁹ l/s

Méthodes globales

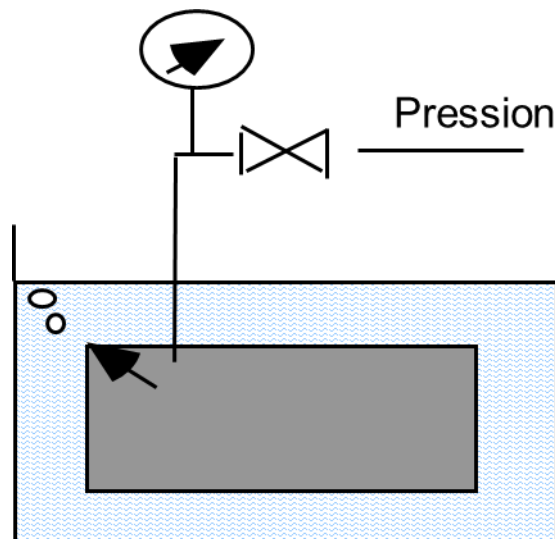


Méthodes globales

Contrôle à la bulle (immersion)

- ▶ Bulles par immersion
 - ▶ Objet sous pression
 - ▶ Immersion dans l'eau
 - ▶ Bulles si fuite

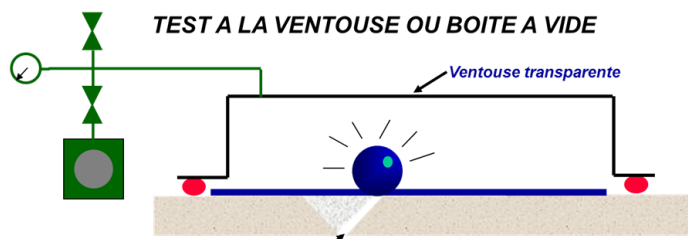
- ▶ Sensibilité : $1.10^{-4} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$



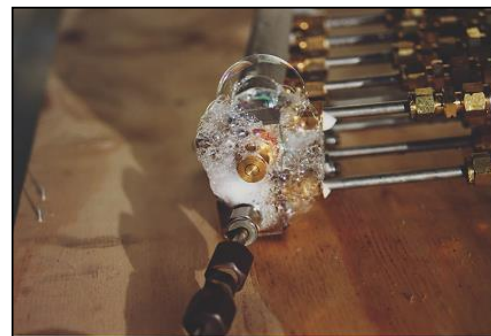
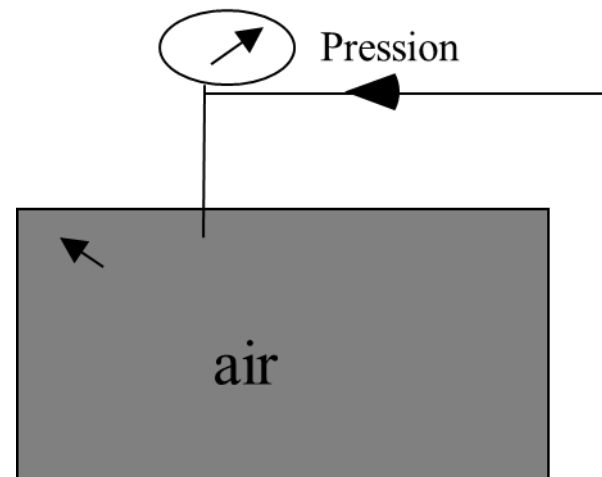
Méthodes globales

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 :



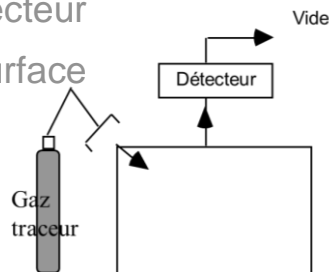
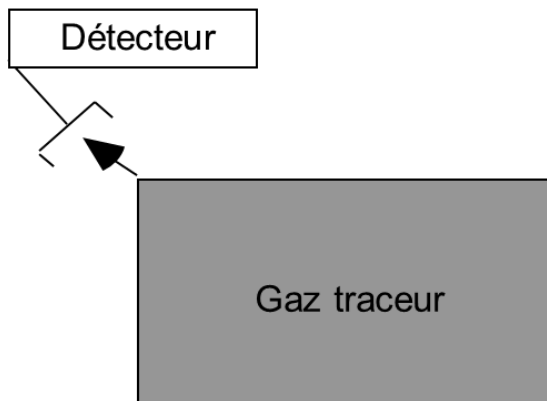
- ▶ Sensibilité : $1.10^{-4} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$



Méthodes globales

Avec gaz traceur

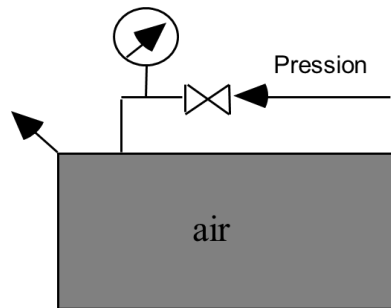
- ▶ Sensibilité : $1.10^{-7} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$
- ▶ Détection par reniflage
 - ▶ La capacité est remplie de gaz traceur
 - ▶ Détection des fuites avec déplacement d'une sonde (reliée à un détecteur de gaz) autour des zones susceptibles de fuir
- ▶ Détection par aspersion
 - ▶ Objet mis sous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



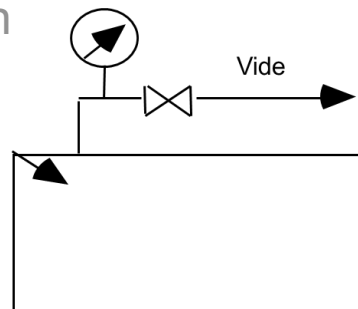
Méthodes globales

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



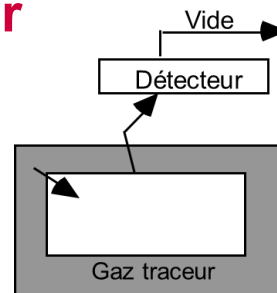
- ▶ Mesure d'une remontée de pression



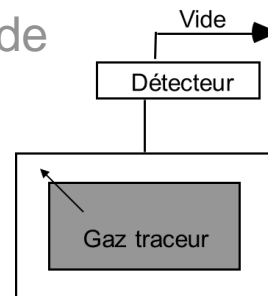
Méthodes globales

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

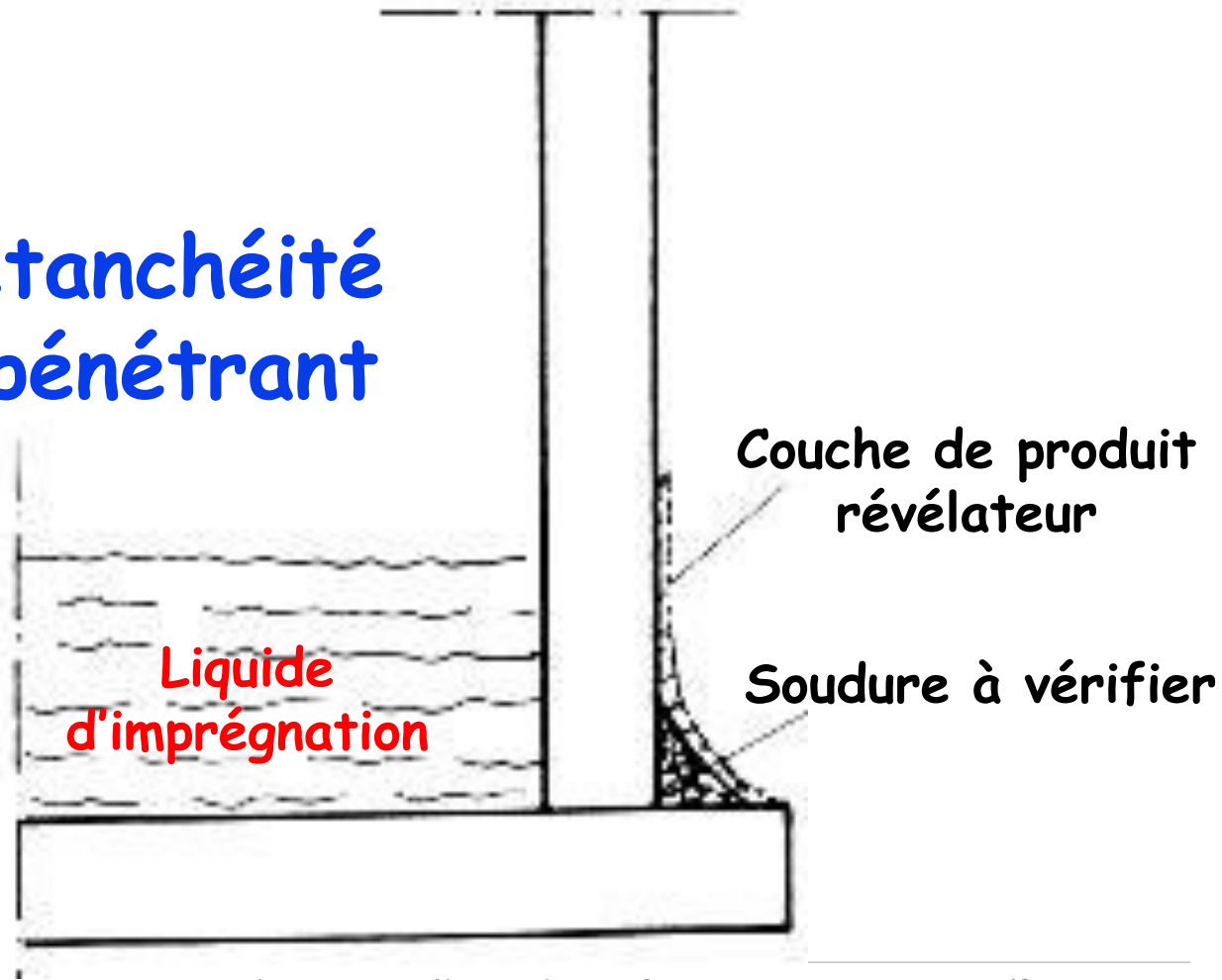


- ▶ La capacité est placée dans une enceinte sous vide
 - ▶ reliée à un détecteur de gaz
 - ▶ mise sous pression avec gaz traceur



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

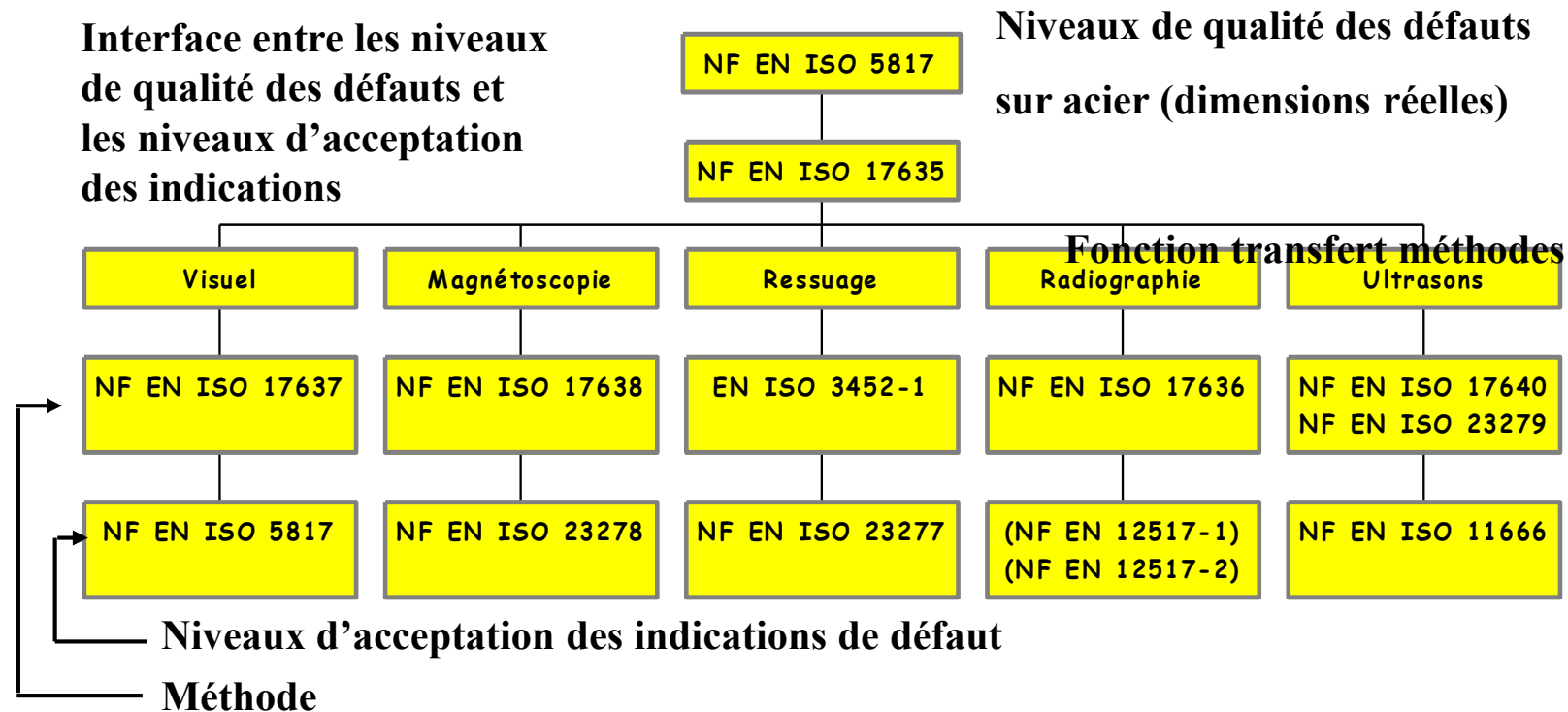
Conclusions (2/3)

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 ^a		
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
AT, ET, LT, RT, UT, TT	3	9	18
MT, PT, ST, VT	1	3	12

^a 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

TENE		PROCES-VERBAL D'EXAMEN PAR ULTRASON MEP		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: CEM			REFERENCES DE L'OBJET / Object references 233457													
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:												
DOCUMENTS APPLICABLES / Documentation																
NORME-CODE / Standard Reference NF EN ISO 17640		VERSION SEVERITE / Class Niveau A	SPECIFICATIONS / Clients documents NF EN ISO 11666		PROC. TENE / Teneo Procedure:											
CONDITIONS D'EXAMEN / Examination conditions:																
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:											
EQUIPEMENT et ETALONNAGE ULTRASON / Ultrasonic Equipment and calibration:																
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											
Palpeurs / Probes																
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 Barium titanate	A	Autres Other	PE	Point d'urgence Offset probe	Z0	Zone morte Dead zone			
CONCLUSION DE L'EXAMEN / Examination results																
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.																

	Contrôle réalisé par : Examination by:	Vérification réalisée par * Verification performed by:	Validation - Approbation * Validation - Approval:
Nom - Prénom Certification Date Visa	GAUTIER Thibaut N° CIFM BO2-021180 11/04/2019		


Stage : Technologie

© Cetim 2019, toute reproduction

Réf : T46

PV UT

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

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

Stage : Technologie

© Cetim 2019, toute reproduction, t

Réf : T46

PV UT



PROCES-VERBAL D'EXAMEN PAR ULTRASON COMPACITE

ULTRASONIC TESTING REPORT OF COMPACTNESS

Rapport n° : 190490 UT
 Indice de Révision: 0 En date de: 11/04/2019

Référence Client : CEM Page 3 / 3

CLIENT / Customer:

CEM

REFERENCES DE L'OBJET / Object references

233457

DATE & LIEU D'INTERVENTION

Examination Date and Place:

11/04/2019 sur le site de Metal Control situé à Meaux (77)

INTERPRETATION Selon

Results according:

NF EN ISO 11666

NIVEAU QUALITE

Quality lev.

Niveau 3

RELEVÉ DES INDICATIONS / Indications Report

N°	Position		Angle (°)	X	Y (mm)	Z	PS	Longueur (mm)	Pouvoir Réfléchissant	NV / V	C	NC	Remarques	
	Face	Côté												

OBSERVATIONS / Observations

COMMENTAIRES / Comments: Aucune indication notable n'a été détectée suivant la méthode d'examen mise en oeuvre.

	Contrôle réalisé par : Examination by:	Vérification réalisée par * Verification performed by:	Validation - Approbation * Validation - Approval:
Nom - Prénom Certification Date Visa	GAUTIER Thibaut N° CIFM BO2-021180 11/04/2019 		

Stage : Technolog

© Cetim 2019, toute reproduction

Réf : T46

PV PT

METAL CONTROL		RAPPORT D'EXAMEN PAR RESSUAGE Die penetrant inspection report				MC/190490	L S	
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			
MODALITE DE L'ESSAI (TESTING PROCEDURE)								
ISO 3452-1 (2013) + ISO 23277 Niveau 1 (2015)								
PRODUITS (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				
Révéléateur	SREM	R 175	L151108 - 11/2020	Projection				
PARAMETRES (PARAMETERS)								
Solvant :								
Type : Aérosols (Type)	Durée d'application : (Dwell time)	5 min	Séchage : (Drying)	Evaporation				
Pénétrant :								
Type : Coloré / préémulsionné (Type)	Durée d'application : (Dwell time)	20 min	Elimination : (Elimination)	Eau / Eponge / Chiffon sec				
Révéléateur :								
Type : Liquide (Type)	Interprétation : (Interpretation)	5 à 30 min	Intensité : (Intensity)	> 1000 Lux				
CONDITIONS D'EXAMEN (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					
RESULTATS (RESULTS)								
Repère éprouvette (Sample mark)	Interprétation / Commentaire (Interpretation / Comment)				Conforme (Accept)	Non-Conforme (Reject)	Sans Objet (Not applicable)	
457	Absence de défaut				X			
Commentaires (Comments) :								
PT 0405-B								
EXÉCUTANT (Experimenter)	F. VERHAEGHE N°BO2 017094 12/04/2019	RESPONSABLE (Responsible person)	F. VERHAEGHE N°BO2 017094 12/04/2019	INSPECTEUR (Inspector)				

Les résultats obtenus ne concernent que les objets soumis à l'essai. Seul le rapport original peut être déposé comme preuve de conformité en cas de litige. Pour déclarer au site, le conformer à la réglementation, il est possible de télécharger le rapport de l'essai sur le site de l'organisme certificateur. Pour plus d'informations, contactez votre organisme certificateur.

