

FRANÇOIS-CONF--20

FR 8101116

III ÈME COLLOQUE NATIONAL  
SUR LA :

TECHNOLOGIE DES APPAREILS A PRESSION

PARIS

Du 1 AU 3 OCTOBRE 1980

+++++

LA REPRODUCTIBILITÉ DES RÉSULTATS DANS LA MISE EN OEUVRE  
DES ESSAIS NON DESTRUCTIFS.

MM. LAUNAY  
CHALAYE  
THOMAS

Colloque : Troisième Congrès National sur la Technologie des Appareils à Pression

Communication : La reproductibilité des résultats dans la mise en oeuvre des essais non destructifs

Auteurs : J.P. LAUNAY, H. CHALAYE, Ingénieurs Division Qualité, FRAMATOME  
A. THOMAS Ingénieur, Centre d'Etudes sur les Essais Non Destructifs, FRAMATOME Chalon

## INTRODUCTION

Tout appareil à pression quelle que soit son utilisation doit satisfaire à des critères de sûreté très sévères qui conduisent à imposer un niveau de qualité très élevé.

Afin d'assurer cette qualité il est généralement fait appel à des méthodes classiques d'essais non destructifs auxquelles il est demandé un haut degré de fiabilité : magnétoscopie et ressuage pour les examens de surface, radiographie et ultrasons pour les examens volumiques.

Ces opérations de contrôle interviennent à de multiples stades de la fabrication :

- réception du matériau de base,
- contrôle des chanfreins avant soudure,
- contrôle des joints soudés,
- contrôle final.

Aux phases de contrôles classiques en atelier s'ajoutent des contrôles sur site au moment du montage, une visite complète initiale avant le démarrage de la centrale et des visites périodiques et de maintenance après la mise en service.

Il importe de s'assurer que les résultats de ces contrôles possèdent la meilleure reproductibilité possible afin de pouvoir porter un jugement sur l'éventuelle évolution des indications de défauts observées.

En outre, le manque de reproductibilité des résultats conduit à prendre des marges importantes vis-à-vis des critères d'acceptation, ce qui entraîne une augmentation des coûts de fabrication.

La Société FRAMATOME s'est attachée à caractériser pour chacune des méthodes classiques de contrôle non destructif les facteurs influant sur la reproductibilité des essais. L'analyse présentée est le fruit de l'expérience de FRAMATOME dans la mise en oeuvre de ces méthodes.

En particulier, pour le contrôle par ultrasons, une étude poussée des paramètres en cause a été menée et une analyse statistique des résultats a permis de chiffrer la dispersion due au matériel de contrôle.

## 1 - MAGNETOSCOPIE

La magnétoscopie est une méthode de contrôle permettant la détection de discontinuités superficielles ou proches de la surface (quelques mm). Elle ne peut être mise en oeuvre que sur des matériaux magnétiques. De par sa nature, elle est complémentaire à l'examen par ressuage.

Les paramètres influençant la reproductibilité des indications observées sont les suivants :

### Conditions Opératoires

La spécification de contrôle doit être extrêmement précise sur l'écartement des électrodes et leur orientation. Des indications à la limite de visibilité lors d'un premier contrôle, peuvent échapper lors d'un deuxième contrôle, si la position des touches a été modifiée, pour un écartement des touches constant (Figure 1).

Une variation de l'état de surface ou de l'état de contrainte de la pièce à contrôler modifient également le spectre magnétoscopique : traces de meulage, coups, calamine, compression ou élargissement des défauts.

### Champ Magnétique

Le champ magnétique lui même peut être modifié, et donc la sensibilité du contrôle :

- par l'introduction d'un entrefer : peinture, calamine ...
- par la modification de l'écartement des touches,
- par le mode du courant d'alimentation : continu, alternatif redressé 1 ou 2 alternances.

Ce dernier paramètre apparaît comme particulièrement important pour la détection des défauts en profondeur, (Figure 2) (1).

On voit en effet que pour une même valeur du champ,  $4000 \text{ Am}^{-1}$  par exemple, la profondeur de détection varie de 7mm pour le champ continu à 1mm pour le champ alternatif.

### Nature et Type du Révélateur

Le révélateur intervient par :

- . sa composition chimique et ses propriétés magnétiques,
- . sa granulométrie qui conditionne la mobilité des grains et la finesse des indications,
- . l'enrobage coloré ou fluorescent des particules,
- . son type : liquide ou poudre sèche,
- . la concentration et la nature du fluide porteur dans le cas d'une liqueur.

### Position de la Pièce à contrôler

Une étude a montré qu'avec les révélateurs liquides on observe une augmentation du bruit de fond (parfois extrêmement gênante pour l'interprétation) lorsque la pièce à examiner est en position horizontale au lieu d'être inclinée, du fait de l'évacuation difficile du produit.

### Eclairage des Indications

Ce paramètre apparaît comme particulièrement important pour des révélateurs fluorescents. Des précautions particulières doivent être prises pour vérifier la constance de l'intensité lumineuse.

En conclusion, à la condition que la spécification de contrôle soit bien adaptée aux discontinuités recherchées (nature, profondeur), les difficultés de reproductibilité apparaissent liées essentiellement aux conditions opératoires.

Des précautions simples et l'expérience de l'opérateur peuvent assurer à cette méthode une bonne reproductibilité.

## 2 - RESSUAGE

Le ressuage est considéré souvent comme une méthode de contrôle simple, tant en ce qui concerne sa mise en oeuvre que la détection et l'interprétation des indications.

Certains paramètres méconnus ou sous-estimés peuvent cependant modifier de façon radicale les résultats d'un contrôle par ressuage.

### Etat de Surface

En particulier, si entre deux contrôles successifs l'état de surface a été modifié d'une façon quelconque (usinage, meulage, oxydes ou calamine...), les défauts peuvent être obstrués ou modifiés géométriquement par des contraintes superficielles, et leur détection fortement perturbée.

### Mise en Oeuvre du Contrôle

Un mauvais nettoyage après un essai peut modifier profondément les résultats d'un essai ultérieur :

- obstruction de défauts par des traces de pénétrant mal éliminées,
- modification de la coloration du pénétrant lors du 2ème essai.

Les résultats peuvent également différer entre 2 essais successifs :

- si les essais ont été effectués à des températures différentes (tout en restant dans la gamme admissible, exemple à 10°C et 40°C),
- si les conditions d'éclairage des pièces lors de l'interprétation ont été modifiées (Dans le cas du ressuage fluorescent la finesse des indications impose une intensité lumineuse importante),
- enfin si l'élimination du pénétrant n'est pas identique, tout en restant pour les 2 essais formellement conforme à une spécification : élimination au jet d'eau avec des pressions différentes, utilisation de solvants différents etc ...

### Produits de Ressuage

Certains produits de ressuage présentent un comportement extrêmement particulier vis-à-vis de l'hygrométrie et de l'humidité. La coloration, en particulier peut être profondément modifiée et de ce fait influencer sur la détection des défauts fins. Cette propriété peut être un atout important à basse température où les défauts peuvent retenir de l'eau ou même de la glace.

Les couples pénétrant - révélateur présentent par ailleurs des sensibilités différentes. La valeur d'un couple est déterminée par l'intégration d'un très grand nombre de caractéristiques physico-chimiques :

- . nature chimique, viscosité, pouvoir mouillant, tension superficielle, coloration ... pour le pénétrant,
- . nature, granulométrie, type de solvant .... pour le révélateur.

Deux couples différents utilisés suivant la même spécification peuvent donner des résultats différents (Figure 3). Pour un même type de produit, des variations de sensibilité d'un lot à l'autre peuvent également être notées.

En conclusion l'évaluation de la reproductibilité se heurte en fait à la difficulté d'appréciation des résultats d'un essai de ressuage. Cette appréciation est avant tout visuelle et ne permet pas de porter un jugement objectif.

Des essais d'évaluation quantitative sont actuellement en cours à FRAMATOME. Ces essais devraient permettre de mieux cerner les paramètres en cause, d'évaluer leur influence sur les résultats, et enfin d'évaluer quantitativement la reproductibilité des contrôles entre 2 essais successifs.

En tout état de cause la valeur d'un examen par ressuage dépend beaucoup, outre naturellement de la qualité des produits utilisés, de la compétence et du savoir faire de l'opérateur.

### 3 - RADIOGRAPHIE

Les facteurs pouvant influencer sur la reproductibilité peuvent se répartir en 3 classes.

#### Mise en Oeuvre

Les conditions de mise en oeuvre de 2 contrôles successifs peuvent être modifiées par les paramètres suivants :

- nature et activité de la source (utilisation d'Iridium au lieu de Cobalt par exemple),
- nature des écrans et filtres,
- problèmes de positionnement relatif source - pièce.

Ces modifications peuvent avoir plusieurs conséquences :

- modification du contraste (ex. utilisation de l'Iridium 192 au lieu du Cobalt 60) et de la perception des défauts fins,
- dégradation de l'image :
  - . flou géométrique plus important du fait d'un recul limité,
  - . flou supplémentaire apporté par le rayonnement diffusé par l'environnement, d'autant plus important que le temps de pose est plus long.

Ces modifications de conditions opératoires sont particulièrement sensibles dans le cas de contrôles sur chantier qui peuvent connaître des limitations importantes par rapport au contrôle fabrication :

- modification du type de rayonnement (source au lieu d'accélérateur linéaire par ex.)
- encombrement de certains composants d'où une distance source - film limitée,
- activité des sources souvent plus faible, d'où augmentation des temps de pose et du flou.

Le type d'émulsion utilisé lors d'un contrôle radiographique, ainsi que son traitement ultérieur sont également importants :

- . Les différents films présentent des courbes sensitométriques d'allure très diverses : une même différence d'exposition peut donc entraîner pour 2 émulsions différentes deux différences de densité (contraste) (Figure 4).
- . La taille de grain joue un rôle important dans la finesse de détection (sensibilité). Un film lent à grain fin est donc plus sensible.
- . Des modifications des conditions de développement ont une action sur la qualité de l'image. Une augmentation de la température et/ou de la durée de développement :
  - augmente la rapidité et le contraste du film,
  - augmente la densité globale du film par l'apparition d'un voile chimique.

#### Facteurs liés à la pièce à contrôler et au type de défaut

Certaines structures grossières peuvent provoquer des artefacts pour certains domaines d'énergie incidente. La radiographie d'une plaque inox de quelques mm avec des rayons X de 100 KV est particulièrement représentative de ce phénomène. Ce phénomène disparaît pour des énergies plus importantes (Ir 192 par exemple).

Dans le cas des défauts plans, type fissure, le contraste est maximum si le faisceau incident est parallèle au plan du défaut. Dans le cas réel il est souvent impossible d'assurer la reproductibilité de cette condition.

O. Yokota et Y. Ishii (2) ont évalué l'influence de la désorientation des défauts sur leur détectabilité (Figure 5). Plus le rapport hauteur défaut/ épaisseur de la pièce est grand, plus l'angle de désorientation peut être grand. Pour une valeur constante de ce rapport plus le défaut est large plus l'angle de désorientation peut être grand.

#### Facteurs liés à l'opérateur et aux conditions d'interprétation

L'opérateur intervient par son acuité visuelle, son accoutumance à la pénombre ambiante, sa fatigue après plusieurs heures d'interprétation. La connaissance du produit et du type de défaut recherché est également très importante.

Les paramètres à prendre en compte pour parler de reproductibilité en radiographie sont donc nombreux. Pour beaucoup d'entre eux leur influence sur la qualité d'image et la perception des indications est encore difficile à déterminer. Des modifications de conditions opératoires peuvent être imposées par les circonstances (contrôle sur chantier par ex.). Les résultats de contrôles radiographiques successifs doivent donc être analysés avec prudence, afin d'éviter toute erreur d'interprétation.

#### 4 - ULTRASONS

C'est pour cette méthode de contrôle que la majorité des études, axées sur la mesure de la sensibilité et de la reproductibilité des examens, a été effectuée compte tenu de la possibilité de mesurer quantitativement les résultats.

Après avoir présenté les conclusions essentielles de diverses études effectuées jusqu'à ce jour dans plusieurs pays, nous nous attacherons à exposer une étude particulière effectuée par FRAMATOME dans ce domaine.

##### 4.1 - PARAMETRES POUVANT AFFECTER LA REPOSE ULTRASONORE

Les informations retirées d'un contrôle par ultrasons (amplitude du signal, dimensionnement) dépendent d'une manière très étroite des caractéristiques des discontinuités au sein du matériau : taille, orientation, rugosité, état de contrainte au voisinage du défaut, nature du matériau, localisation.

Les différentes méthodes de contrôle par ultrasons ne présentent pas une sensibilité identique à tous ces facteurs. De nombreuses études se sont attachées à montrer l'influence de certains de ces paramètres pour des méthodes particulières.

A titre d'exemple nous pouvons citer les études de Haines (3) présentant les effets conjugués de la désorientation du défaut et de sa rugosité. (Figure 6)

Des études comparables ont été réalisées par Wustenberg (4) et Saglio, ce dernier dans le cas des ultrasons focalisés.

L'effet des contraintes de compression sur la détectabilité de fissures de fatigue a été montré par Wooldridge (5). La diminution du signal peut atteindre 8dB pour des contraintes de l'ordre de 80 MN/m<sup>2</sup> (Figure 7).

Le contrôle des aciers austénitiques ainsi que des joints soudés en acier ferritique à travers un revêtement en acier austénitique, pose des problèmes particuliers du fait de l'atténuation importante des ondes ultrasonores dans ce type de matériau et de l'appauvrissement du rapport signal/bruit.



Les résultats d'un contrôle par ultrasons dépendent également de l'opérateur. Ce facteur humain a été cerné par une étude menée par l'EPRI (5) : 5 équipes indépendantes étaient chargées de contrôler des segments de tuyauteries inox et d'identifier des indications provenant de fissures de corrosion sous tension. Dans un premier temps la procédure n'est pas imposée. Dans un deuxième temps la procédure d'examen et l'appareillage sont fixés. La dispersion des résultats entre les équipes est importante même dans ce 2ème cas.

Les pourcentages de succès (identification correcte de l'indication comme défaut ou non) varient suivant les équipes :

- dans la 1ère phase : 53% à 81%,
- dans la 2ème phase : 40% à 81%  
(avec procédure)

Il est à noter aussi que l'utilisation d'une machine d'inspection automatique ne supprime pas totalement ce facteur humain du fait d'éventuelles erreurs soit de conception (balayage inadapté) soit d'étalonnage et de seuil de notation des indications.

Enfin la variation des caractéristiques de l'appareillage peut modifier la sensibilité de détection. Le transducteur apparaît comme un maillon particulièrement faible de la chaîne de contrôle. Les variations de performances d'un palpeur à un autre peuvent être importantes, éventuellement même à l'intérieur d'une même série commerciale.

Le transducteur est un montage électro-mécanique de principe assez simple, mais dont la caractérisation fait appel à un grand nombre de paramètres. La liaison entre la mesure des caractéristiques physiques (spectre de fréquence, géométrie du faisceau...) et les performances sur défauts artificiels a fait l'objet d'une étude du SWRI (South West Research Institute) (7). Des méthodes statistiques ont permis de calculer la corrélation des paramètres physiques entre eux afin de diminuer éventuellement le nombre de paramètres significatifs du comportement d'un transducteur à prendre en compte. Des "coefficients de sensibilité" ont été calculés pour chacun des transducteurs. Ces coefficients ont permis l'évaluation de ces transducteurs en bons, moyens ou à éliminer. Selon cette étude le comportement d'un transducteur sur des défauts artificiels apparaît prévisible d'après des caractéristiques physiques mesurables telles que fréquence, amortissement géométrie du faisceau.

#### 4.2. - REPRODUCTIBILITE DES CONTROLES INDUSTRIELS - FIABILITE DES CODES

Les pratiques de contrôle industriel sont régies par des codes. L'application stricte d'une procédure de contrôle tirée des codes devrait assurer la reproductibilité des résultats en détection et dimensionnement.

Plusieurs programmes de recherche internationaux de grande envergure ont pour but de vérifier la reproductibilité des contrôles par ultrasons de joints soudés en suivant une procédure unique :

### Programme PVRC (Pressure Vessel Research Committee)

Un certain nombre de maquettes de joints soudés comportant des défauts provoqués ont été contrôlées par les équipes participantes.

Ce programme s'est déroulé en 2 stades :

- a/ les équipes étaient libres du matériel et de la procédure de contrôle,
- b/ du fait du manque de corrélation des résultats, une procédure de contrôle a été rédigée. Le matériel de contrôle, le couplant, les relevés des indications étaient également vérifiés.

Malgré ces précautions on note des différences marquées entre les équipes comme le montre le tableau 1.

La procédure améliore la détection des indications qui reste malgré tout médiocre.

### Programme PISC (Plate Inspection Steering Committee)

3 joints soudés ont été contrôlés par 34 équipes européennes en suivant une procédure inspirée de l'ASME XI (Section se rapportant à l'inspection en Service).

La comparaison des résultats avec les défauts réels a permis de tirer les conclusions suivantes :

- la détection des défauts est très variable d'une équipe à une autre,
- des défauts inacceptables suivant l'ASME n'ont pas été vus par certaines équipes,
- certaines méthodes alternative et notamment les ultrasons focalisés présentent une sensibilité de détection plus élevée et un dimensionnement meilleur que la méthode classique de contrôle manuel.

D'autres programmes sont actuellement en cours notamment en Angleterre (Welding Institute) et aux USA (EPRI).

Il apparait donc possible de tirer les conclusions partielles suivantes :

- les paramètres pouvant influencer sur la reproductibilité des résultats sont nombreux,
- si le choix de la méthode de contrôle est laissé libre, les résultats de différentes équipes peuvent être très éloignés,
- une procédure détaillée (incluant également le matériel de contrôle) n'assure pas la reproductibilité parfaite des résultats.

#### 4.3 - ESSAIS FRAMATOME

Parmi les paramètres, objets des études citées au-dessus, l'appareillage de contrôle utilisé (générateur, transducteur) est certainement l'un de ceux dont l'influence est la plus évidente.

Dans le cas du contrôle par ultrasons des joints soudés, on admet que la référence d'étalonnage adoptée (écho sur la génératrice de trous cylindriques) supprime ou normalise les effets dus aux caractéristiques du matériel de contrôle.

Cette affirmation s'étant vue infirmée à de nombreuses reprises lors des opérations de contrôle en fabrication, FRAMATOME a lancé une étude afin d'évaluer la dispersion des résultats apportée par la chaîne de contrôle, et de caractériser son comportement. Les essais ont porté sur des palpeurs et des générateurs ultrasons réputés identiques entre eux (même série commerciale).

##### 4.3.1 - Mesures

Environ 2000 relevés d'amplitude sur défauts artificiels et réels ont été effectués avec 60 couples Appareil/Palpeur du même type par un seul opérateur.

Les blocs sont en acier ferritique.

##### Réflecteurs utilisés :

- 8 trous étalons de diamètre 2 mm frappés sur génératrice à des profondeurs variant de 25 à 200 mm par pas de 25 mm ;
- 11 trous de diamètre 4 mm frappés sur le fond plat du trou orienté perpendiculairement aux faisceaux ultrasons et dont les profondeurs varient de 20 à 220 mm par pas de 20 mm ;
- 12 entailles de longueurs 5, 10, 15 et 20 mm approximativement de forme en U de profondeur environ 1 mm, situées sur la face opposée de la face de palpéage de blocs d'épaisseurs 50, 100 et 200 mm ;

##### 60 couples Appareil-palpeur :

- 30 palpeurs à ondes transversales à 45°, de fréquence 2 MHz, et de surface émettrice 314 mm<sup>2</sup> sur un générateur : 30 couples ;
- 15 générateurs du même type avec 1 des palpeurs précédents : 15 couples ;
- les mêmes 15 appareils sur 1 autre des palpeurs précédents : 15 couples ;

#### 4.3.2 - Exploitation des résultats

##### Correction d'étalonnage

Pour chacun des couples appareil-palpeur, l'amplitude de l'écho de chaque réflecteur est rapportée à l'amplitude obtenue sur le défaut étalon à la même profondeur.

Cette différence d'amplitude, exprimée en dB, est appelée cotation.

Le tableau des cotations a servi de base au dépouillement.

##### Notion de reproductibilité

La notion de reproductibilité retenue est conforme à la définition AFNOR citée dans la norme NF X 07 001 :

##### "Reproductibilité des Mesurages

Etaioisse de l'accord entre les résultats des mesurages d'une même grandeur dans le cas où les mesurages individuels sont effectués :

- suivant différentes méthodes, au moyen de différents instruments de mesurage.
- par différents observateurs, dans différents laboratoires,
- après des intervalles de temps assez longs par rapport à la durée d'un seul mesurage,
- dans différentes conditions usuelles d'emploi des instruments utilisés."

Dans le cas de l'étude la reproductibilité exprimée en dB est une grandeur qui caractérise l'écart possible entre 2 cotations d'un même réflecteur avec 2 couples appareil-palpeur différents.

La reproductibilité, calculée sur tout ou partie du tableau des cotations, est le double écart type de la population de écarts (ensemble des différences 2 à 2 des cotations d'un même réflecteur).

Ainsi donc pour l'ensemble du tableau (60 couples Appareil-Palpeur, 23 réflecteurs artificiels) la reproductibilité est évaluée entre 5 et 6 dB.

En d'autres termes, 2 cotations d'un même réflecteur avec 2 chaînes de contrôle réputées identiques peuvent différer entre elles de  $\pm 6$  dB.

En terme de probabilité l'histogramme de la population des écarts nous a montré que 95% des écarts étaient compris entre -6 et +6 dB, bien que la loi de distribution ne soit pas gaussienne. (Figure 8)

L'étude a aussi montré que la reproductibilité dépend de la nature du réflecteur

4 à 5 dB pour les fonds plats

6 à 7 dB sur les entailles.

Le palpeur semble avoir une part plus grande dans la dispersion que l'appareil :

	Ø4 FP	Entailles
appareil constant 30 palpeurs	3,90	5,10
palpeur constant 15 appareils	2,50	3,70

reproductibilité en dB

#### 4.3.3 - Analyse Statistique des Données

Les travaux ont été menés en collaboration avec la Société COREF.

Les méthodes retenues,

. Analyse factorielle en composantes principales (ACP),

. Classification hiérarchique ascendante,

soit des méthodes descriptives qui fournissent une interprétation rapide des résultats.

#### Caractérisation des couples Appareil-Palpeur

Dans le cas de l'ACP, chaque couple Appareil-palpeur a pour coordonnées les cotations des réflecteurs.

Les 60 couples sont donc représentés par 60 points dans un espace à 23 dimensions (31 réflecteurs - 8 trous étalonnage).

Une représentation simplifiée à 2 dimensions permet donc de placer les couples suivant leur comportement sur les différents réflecteurs. (Figure 9)

Des populations de couples présentant un comportement homogène vis-à-vis des réflecteurs ont pu être dégagées : sur ou sous cotation systématique, comportement neutre.

La proximité de 2 points est significative de la corrélation existant entre les comportements des 2 couples associés. Inversement leur éloignement implique des comportements opposés sur les réflecteurs. Les positions des points représentatifs des couples dans le plan sont donc les images de leur comportement sur les réflecteurs.

#### Caractérisation des réflecteurs

Les réflecteurs peuvent figurer comme points supplémentaires sur la représentation plane adoptée.

La proximité d'un point correspondant à un réflecteur et d'un couple donné représente également la corrélation entre eux. Cela met donc en évidence le comportement particulier de ce couple sur ce réflecteur.

Utilisant cette méthode nous avons ainsi constaté le rôle discriminant des entailles à 50mm de profondeur. Un certain nombre de couples présentaient une sur-cotation systématique sauf sur ce type de réflecteurs, et il existe de même un groupe de comportement symétrique. Ce comportement particulier, pourrait s'expliquer par des interactions entre la longueur d'onde du faisceau incident ( 1,6mm à 2 MHz dans l'acier) et la profondeur des entailles.

L'effet de la profondeur des réflecteurs sur la dispersion des résultats n'a pas été appréciable dans le cas de l'étude.

#### 4.3.4 - Conclusions

L'étude engagée par FRAMATOME sur la reproductibilité des contrôles par ultrasons en conditions industrielles a permis :

- d'évaluer la reproductibilité (écart maximum entre 2 mesures) à  $\pm 6$  dB,
- de définir des populations homogènes de couples Appareil-palpeur,
- de constater le comportement particulier de certains réflecteurs (entailles à 50 mm de profondeur),
- de vérifier que la dispersion n'est pas liée directement à la profondeur des réflecteurs.

## CONCLUSIONS

Les réflexions présentées sont le fruit de l'expérience FRAMATOME dans le domaine des contrôles non-destructifs, et ne constituent pas une liste exhaustive des paramètres influant sur la reproductibilité des résultats de chacune des méthodes.

Les actions possibles pour améliorer la reproductibilité concernent essentiellement 3 domaines :

- qualification des opérateurs, et amélioration de leur information,
- rédaction détaillée de procédures de contrôle qui figent une certaine pratique,
- suivi du matériel de contrôle, vérification de ses performances (Générateurs Ultrasons, magnétoscopes, sources etc...).

Ces actions apparaissent indispensables pour accroître la reproductibilité et donc la fiabilité des contrôles ; elles ne peuvent être suffisantes pour l'assurer.

Certains paramètres sont peu ou mal maîtrisés, leurs effets sur les résultats également.

Le manque certain de reproductibilité des résultats des essais non-destructifs appelle donc une certaine prudence dans l'interprétation de ces résultats et de leur évolution.

## REFERENCES

- (1) CREUSOT LOIRE - Note Technique C Ph 192
- (2) O. Yokota Y. Ishii "Crack Detectability by Radiography" British journal of NDT Sept 79.
- (3) Haines. The Reliability of Ultrasonic Inspection  
IAEA Vienne 10-13 Octobre 1977.

- (4) Wustenberg.H, Kutzner.J, Engl-G  
Dependence of Echo Amplitude on Defect Orientation in Ultrasonic Examination  
8ème Conférence CND, Cannes Sept.76
- (5) Wooldridge AB. The effects of compressive stress on the Ultrasonic response of steel-steel interfaces of fatigue cracks.  
Symposium on "improving the reliability of ultrasonic inspection"  
Londres Nov. 1978.
- (6) EPRI NP-436-SR. A Study of Inservice Ultrasonic Inspection Practice for BWR Piping Welds.
- (7) "Engineering services to determine acceptance limits of Ultrasonic transducers for non-destructive inspection" SWRI Juin 1978.

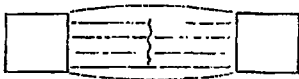


TABLEAU 1

Flaw Characteristics (Specimen 201)		ULTRASONIC DETECTION New Procedure												
		Unclad Plate					Weld Clad Overlay							
		A	B	C	D	E	Detected	A	B	C	D	E	Detected	
A	Tight Crack	1.5in long x 0.44in th	F	F	F	F	F	5/5	-	-	-	-	-	2/5
B	Slag	~ 1.4in x 0.17in th	F	F	F	U+	F	4/5	U	F	F	U	U	2/5
C	Crack	~ 1.8in x 0.18in th	U	F	U+	F	F	3/5	U	U	U	U	U	0/5
D	Open Crack	0.7in long x 0.20in th	F	F	U+	U	F	3/5	-	-	-	-	-	
E	Lack of Fusion	0.9 in long	U	F	U+	U	U	1/5	-	-	-	-	-	
F	Intended Lack of fusion	1.0 in long	F	F	F	U+	F	4/5	-	-	-	-	-	
G	Not Fusion (Slag?)	~ 1.9in x 0.03in th	U	F	U	U+	U	1/5	U	U	U	U	U	0/5
H	Slag	~ 1.6in x 0.12in th	U	F	F	F	F	4/5	U	F	F	U	U	2/5
I	Slag	~ 1.3in x 0.08in th	U	F	F	F	F	4/5	U	F	U	U	U	1/5
J	Spongy Area	0.43in Diagonal	F	U	U	U	U	1/5	-	-	-	-	-	
1	Lamination		U	U	U	U	U	0/5	U	U	U	U	U	0/5
2	Lamination		U	U	U	U	U	0/5	U	U	U	U	U	0/5

F = DETECTED

U = UNDETECTED



Lignes de champ I au défaut  
- défaut vu -



Lignes de champ II au défaut  
- défaut non vu -

FIGURE 1

MAGNETOSCOPIE : Influence de l'orientation lignes de champ/défaut

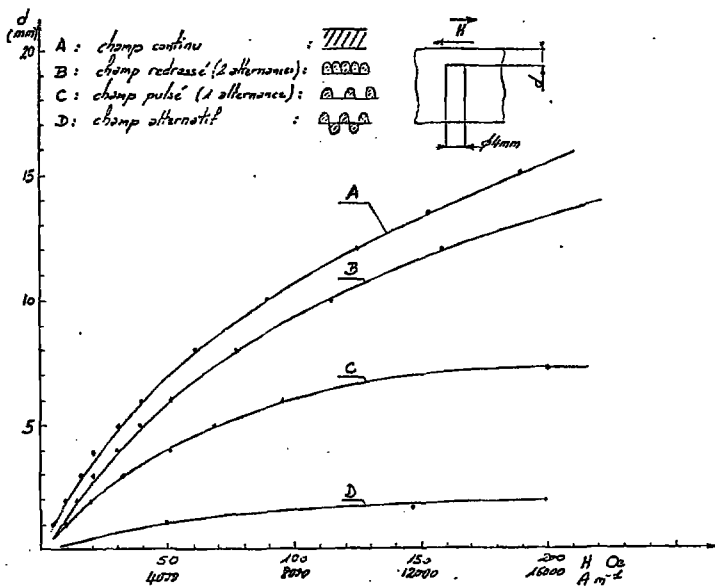


FIGURE 2

MAGNETOSCOPIE : Influence du type de champ sur la profondeur de détection.

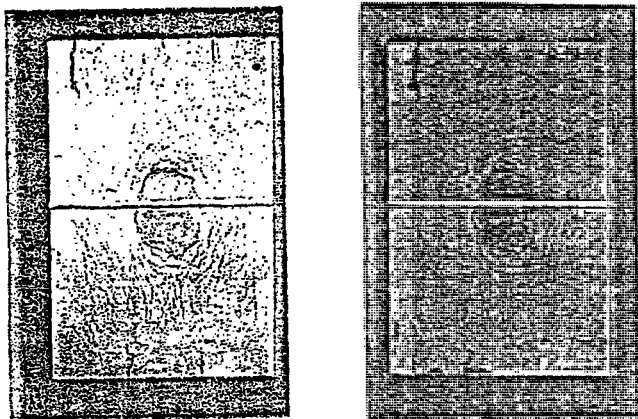


FIGURE 3

Comparaison de la sensibilité de 2 produits de ressuage  
sur plaquette étalon.

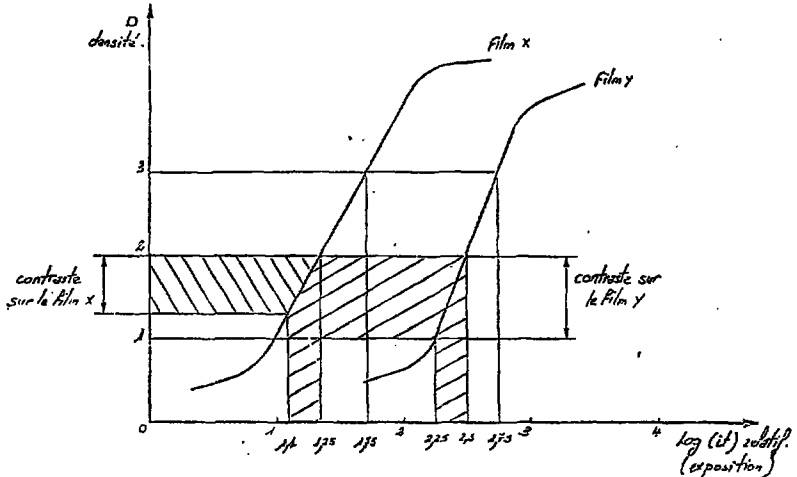


FIGURE 4

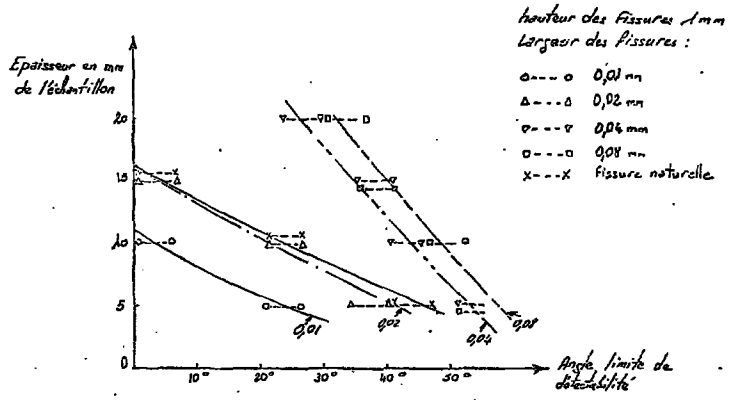


FIGURE 5

Influence de l'angle d'incidence du faisceau rayon X sur la détectabilité des fissures.

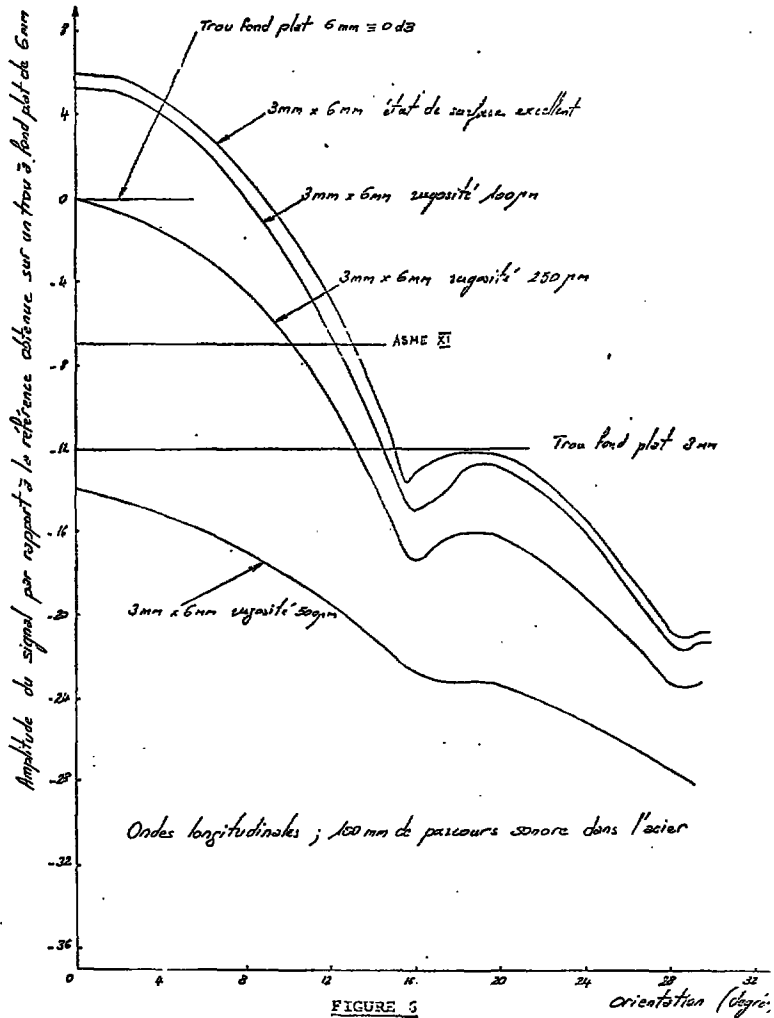


FIGURE 5

Influence de l'orientation du défaut et de son état de surface sur l'amplitude du signal.

Coefficient  
de transmission

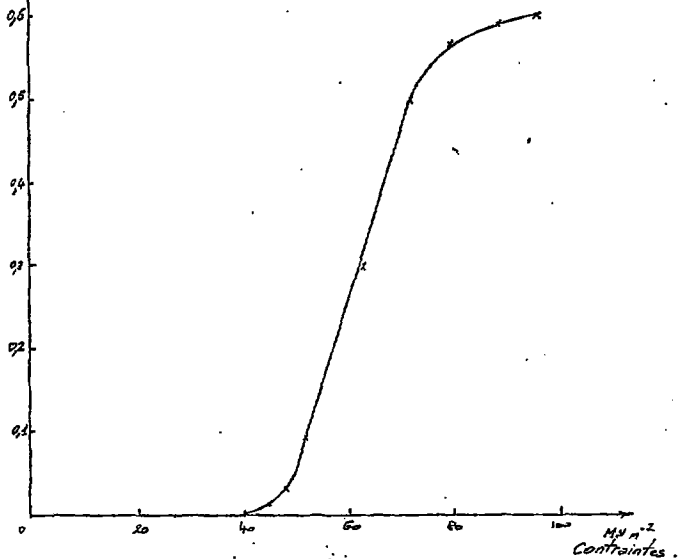


FIGURE 7

Transmission des ondes transversales à travers une fissure  
mise sous contrainte.



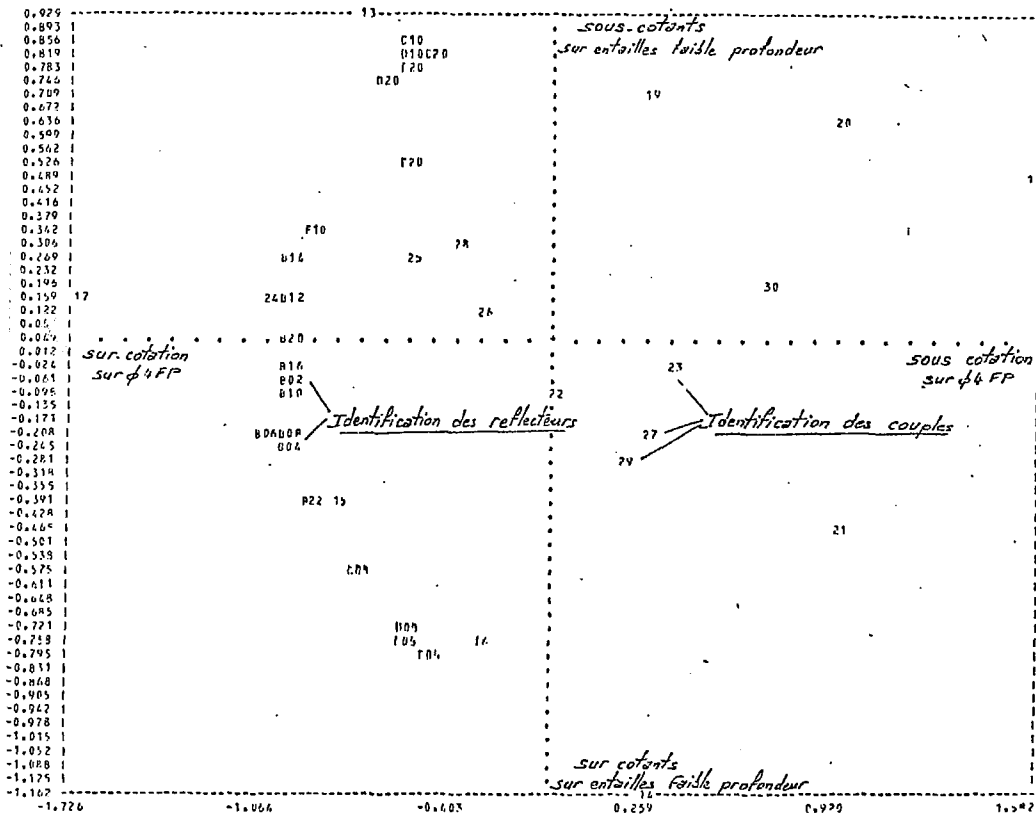


FIGURE 9