

FR 810 1108

III ÈME COLLOQUE :

" PROGRES DANS LES METHODES D'INVESTIGATIONS DANS
LES METAUX "

SAINT - ETIENNE

Du 3 AU 5 DÉCEMBRE 1980

+ = + = + = + = + = + = +

REPRODUCTIBILITÉ DES RÉSULTATS LORS DES EXAMENS
PAR ULTRASONS

MM. CHALAYE
LAUNAY
THOMAS

Colloque : Troisième Colloque sur les Progrès dans les Méthodes d'Investigation des Métaux

Communication : Reproductibilité des résultats lors des examens par Ultrasons
- Approche statistique

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

1 - INTRODUCTION

Il importe, lors de la mise en oeuvre des différentes méthodes d'essais non destructifs, de s'assurer que les résultats de ces derniers révèlent une reproductibilité suffisante pour pouvoir porter un jugement sur une évolution éventuelle des indications de défauts observées. Le présent mémoire rapporte les conclusions des essais que nous avons réalisés pour évaluer la reproductibilité des contrôles par ultrasons effectués sur les joints soudés. On admet dans ce cas que la référence d'échalonnage adoptée (écho sur des trous cylindriques) supprime ou normalise les effets dus aux caractéristiques du matériel de contrôle.

Cette hypothèse s'étant vue infirmée à de nombreuses reprises lors d'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 d'ultrasons réputés identiques entre eux (même série commerciale).

2 - DESCRIPTION DES ESSAIS

Environ 2000 relevés d'amplitude sur défauts artificiels ont été effectués avec 60 couples appareil/palpeur du même type par un même opérateur. Les blocs d'essais utilisés étaient en acier ferritique.

2.1 - REFLECTEURS UTILISES

- 8 trous étalons de diamètre 2 mm frappés sur leur 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.

2.2 - 60 COUPLES APPAREIL/PALPEUR

- 30 palpeurs à ondes transversales à 45°, de fréquence 2 MHz, et de surface émettrice 314 mm² avec un même générateur : 30 couples ;

- 15 générateurs du même type avec 1 des palpeurs précédents : 15 couples ;
- les mêmes 15 appareils avec 1 autre des palpeurs précédents : 15 couples.

3 - DEFINITION DE LA REPRODUCTIBILITE

3.1 - CORRECTION D'ETALONNAGE

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 :
60 couples x 23 réflecteurs (31 réflecteurs - 8 trous étalons), soient 1380 valeurs.

Dans la suite de l'exposé on appellera sur-(sous-)cotant un couple Appareil/Palpeur donnant pour un réflecteur ou un groupe de réflecteurs, une cotation supérieure (inférieure) à la moyenne des couples.

3.2 - NOTION DE REPRODUCTIBILITE

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

Dans le cas de notre 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 des écarts (ensemble des différences 2 à 2 des cotations d'un même réflecteur).

4 - ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

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

L'objectif principal des méthodes d'analyse statistique utilisées est de résumer le tableau des résultats en réduisant au minimum la perte d'information subie au cours de cette opération, et de permettre une représentation plane de celui-ci analysable visuellement.

4.1 - ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

A chaque individu (couple Appareil/Palpeur) on associe un certain nombre de variables (23 cotations des réflecteurs). Dans un espace à 23 dimensions, chacun des 60 couples est donc représenté par un point, l'ensemble des points formant un "nuage".

L'ACP permet de réaliser une projection de ce nuage sur un plan défini par 2 des axes d'inertie du nuage (Figure 1).

La proximité de 2 points est significative de la corrélation existant entre les comportements des 2 couples associés.

Les variables (réflecteurs) peuvent figurer comme points supplémentaires sur la même représentation (Figure 1).

La proximité d'une variable (réflecteur) et d'un individu (couple) est significative de la corrélation entre eux, c'est-à-dire du comportement particulier de ce couple avec ce réflecteur.

Cette méthode permet donc de séparer les comportements des individus (couples Appareil/Palpeur) et d'identifier les variables (réflecteur) associées à cette dispersion.

4.2 - CLASSIFICATION HIERARCHIQUE ASCENDANTE

Cette méthode a pour but de faire apparaître des groupes homogènes d'individus.

2 couples Appareil/Palpeur présentant un comportement comparable sur les réflecteurs, auront leurs points "images" dans le nuage également très proches. On pourra sans grande erreur les associer dans une seule classe.

En généralisant on définit des classes d'individus proches dans cet espace à 23 dimensions, qui présentent donc des comportements sensiblement identiques sur les réflecteurs (Figure 2).

A un stade ultérieur de l'analyse ces classes peuvent elles-mêmes être agrégées entre elles sous forme de groupes plus vastes. Les points qui les constituent sont plus loin les uns des autres ; le comportement des couples qui leur sont associés ne peut être traduit par un terme générique qu'au prix d'une certaine approximation.

5 - RESULTATS

5.1 - REPRODUCTIBILITE DES COTATIONS

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 ± 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 3).

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.

Dans le cas des entailles la reproductibilité est meilleure quand la longueur augmente (Figure 4).

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

	#4 FP	Entailles
Appareil constant 30 palpeurs	3,90	5,10
Palpeur constant 15 appareils	2,50	3,70

reproductibilité en dB

5.2 - ANALYSE STATISTIQUE

Les 2 méthodes d'analyse (ACP, classification) ont été mises en oeuvre sur le tableau des cotations.

5.2.1 - Caractérisation des couples Appareil/Palpeur

La population totale des couples a pu être séparée en 2 grandes classes (Figure 2).

- Classe 116 : caractère "sur-cotant" sauf sur entaille à faible profondeur ; 21 individus.
- Classe 118 : globalement "sous-cotant" ; 39 individus. Cette classe peut elle-même être scindée en 3 sous-classes :
 - . classe 115 : "sous-cotant" avec tous les réflecteurs ; 16 individus,
 - . classe 113 : caractère neutre ; 10 individus,
 - . classe 111 : "sous-cotant" sauf sur entailles à faible profondeur 13 individus.

5.2.2 - Caractérisation des réflecteurs

Les classes sont déterminées par le comportement des couples qui les composent sur les réflecteurs (cf. 5.2.1.). Il apparaît à cet égard que le comportement des couples sur les entailles à faible profondeur (50 mm) est suffisamment marqué pour déterminer certaines classes (Figure 2).

Classe 116 : "sur-cotant"	} sauf sur entailles à faible profondeur où le comportement s'inverse pour chacune des 2 classes
Classe 117 : "sous-cotant"	

Ce comportement particulier, pourrait s'expliquer par des interactions entre la longueur d'onde du faisceau incident ($\approx 1,6$ mm à 2 MHz dans l'acier) et la hauteur 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.

6 - 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 ± 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.

Cette étude doit conduire à une application pratique dans la rédaction d'une procédure de réception d'appareils et de palpeurs : une série de mesures est effectuée avec le nouveau matériel sur défauts étalons artificiels ou naturels, les valeurs relevées sont utilisées pour replacer le couple dans une représentation plane, sa position permet de l'affecter immédiatement dans une des classes définies pour une population étalon représentative.

Un test simple de ce type permet d'apprécier rapidement les erreurs systématiques d'une chaîne de contrôle et d'identifier éventuellement les réflecteurs (nature, profondeur) pour lesquels ces erreurs risquent de survenir.

0,929
0,893
0,856
0,819
0,783
0,746
0,709
0,672
0,636
0,599
0,562
0,526
0,489
0,452
0,416
0,379
0,342
0,306
0,269
0,232
0,196
0,159
0,122
0,086
0,049

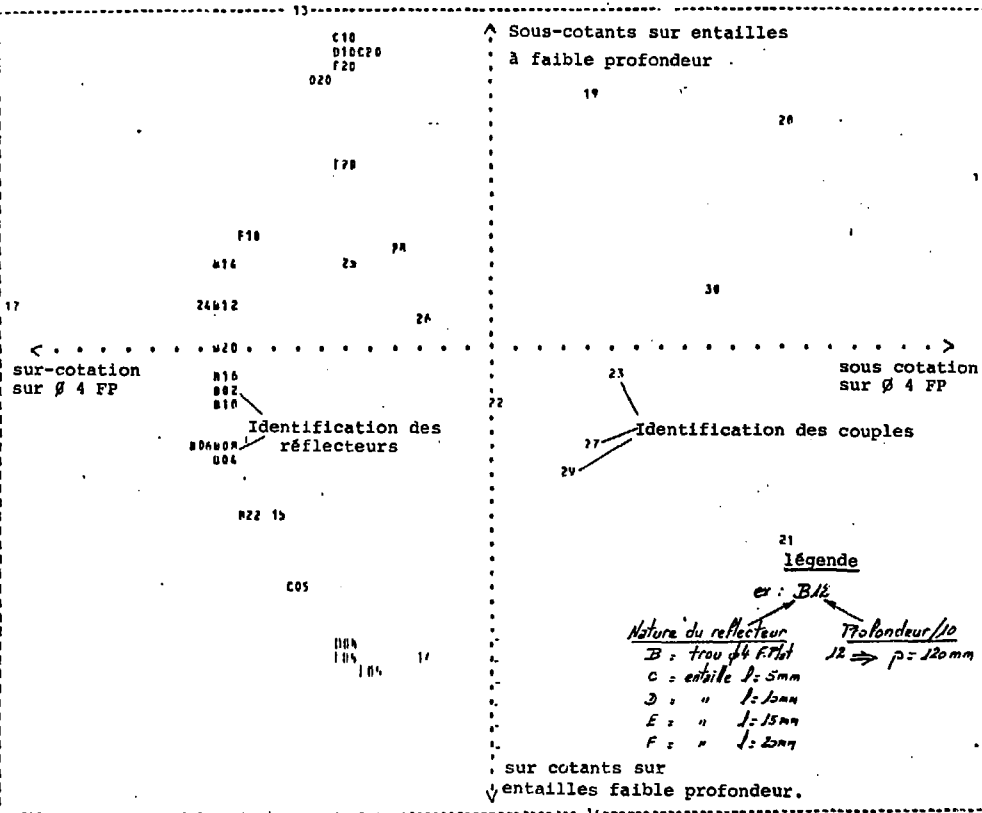


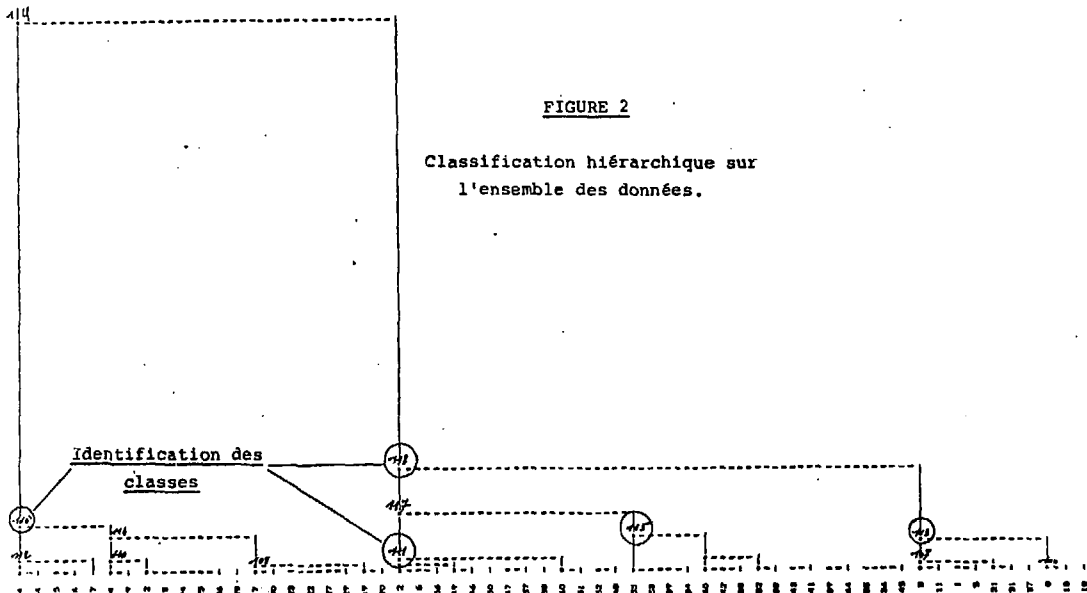
FIGURE 1

légende
 ex : B1/2
 Nature du réflecteur Profondeur/10
 B : trou Ø4 F10/12 ⇒ p = 120mm
 C : entaile l: 5mm
 D : " " l: 10mm
 E : " " l: 15mm
 F : " " l: 20mm

sur cotants sur
 entailles faible profondeur.

FIGURE 2

Classification hiérarchique sur
l'ensemble des données.



(16) - surcotants sauf sur entaille
à faible profondeur.

(11) sous cotants
sur $\varnothing 4$
sur-cotant sur entailles
à faible profondeur

(118) Caractère sous-cotant

(115) sous cotant tous réflecteurs neutres

(119)

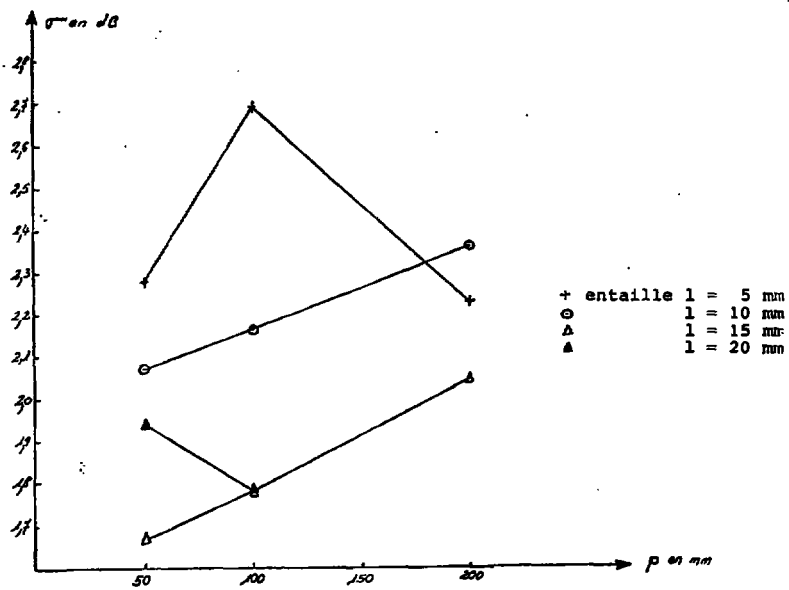


FIGURE 4

Dispersion des résultats sur les entailles en fonction de leur profondeur et de leur longueur.

