



2. Conférence Européenne sur les essais non destructifs.
Vienne, Autriche, 14 - 16 Septembre 1981.
CEA - CONF 5935

COMPARAISON DES SENSIBILITES DES METHODES DE CONTROLES
UTILISANT LES ULTRASONS, RADIOGRAPHIE ET L'EMISSION ACOUSTIQUE
POUR L'EXAMEN D'UNE SOUDURE EPAISSE

auteurs : Michel ASTY
Claude BIRAC CEA

Francis THOMAS
Jean-Pierre LAUNAY FRAMATOME
André THOMAS

I - INTRODUCTION

Le contrôle des joints soudés de fortes épaisseurs de l'industrie nucléaire est réalisé par radiographie et ultrasons à l'issue des opérations de soudage.

Lorsqu'un défaut est détecté, sa réparation nécessite un affouillement parfois profond jusqu'à la position du défaut, puis le remplissage du trou par soudage manuel à l'électrode enrobée. Cette opération très onéreuse comporte, de plus, le risque de provoquer de nouveaux défauts lors du rechargement manuel.

L'écoute de l'émission acoustique au cours du soudage a été envisagée afin de rechercher la possibilité de détecter les défauts au moment de leur apparition, ou peu de temps après. Une mise en oeuvre industrielle de cette méthode permettrait une réparation immédiate, moins onéreuse et plus sûre des zones défectueuses.

L'étude présentée concerne la comparaison entre les résultats des différentes méthodes de contrôles non destructifs : radiographie, ultrasons et émission acoustique, pour un joint soudé épais dans lequel des défauts ont été provoqués.

Un examen destructif du bloc a de plus permis de préciser la nature, l'origine et la position des défauts et d'établir une corrélation entre les résultats de ces méthodes.

Le programme d'essais fait l'objet d'une coopération entre FRAMATOME et le Commissariat à l'Energie Atomique (Centre de Saclay). Il prévoit le soudage de deux joints rectilignes et d'un joint circulaire. Les résultats présentés concernent le premier joint rectiligne.

Les examens non destructifs ont été réalisés avec la collaboration du Laboratoire National d'Essais.

II - CONDITIONS DE SOUDAGE

La tôle à souder en acier 16 MND5 de 120 mm d'épaisseur et de 1180 mm de longueur est préchauffée à 200 °C. Le joint à bords parallèles comporte 79 passes soudées par le procédé semi-automatique à l'arc submergé (sous flux solide) dans des conditions analogues à celles de la fabrication des gros composants des chaudières nucléaires. Le guidage automatique de la tête de soudage par rapport aux bords du chanfrein n'étant cependant pas assuré.

Des défauts de nature différentes, représentatifs de ceux rencontrés en fabrication ont été réalisés intentionnellement, au cours du soudage, à des positions connues :

- . 2 manques de pénétration MP1 et MP2 réalisés par baisse de l'énergie de soudage au niveau des passes de talon,
- . 3 fissures F1, F2 et F3 provoquées par adjonction de cuivre dans le cordon,
- . 3 inclusions I1, I2 et I3 réalisées par tassement de laitier dans des entailles creusées à la meule,
- . 2 collages avec inclusion C11, C12 réalisés par tassement du laitier dans une cavité entre le chanfrein et le cordon de soudure,
- . 2 soufflures S1, S2 : S1 a été provoquée par introduction de graisse dans le cordon et S2 par manque de flux.

III - CONTROLES NON DESTRUCTIFS

Les contrôles non destructifs réalisés (figure 1) sur le joint soudé après arasage du cordon peuvent être classés en 2 catégories :

- les méthodes classiques de contrôle de fabrication par radiographie et ultrasons manuels,
- les autres méthodes : contrôle par ultrasons focalisés et émission acoustique au cours du soudage.

1. Contrôles de fabrication

1.1. Contrôle radiographique

Les conditions opératoires de réalisation des clichés sont les suivantes :

- source : Accélérateur de 8 MeV,
- films : KODAK type M utilisé suivant la technique du double film,
- filtration en plomb d'épaisseur 2 mm,
- écrans renfonçateurs en plomb :
 - . antérieur, e = 1 mm,
 - . intermédiaire, e = 2 x 0,10 mm,
 - . postérieur, e = 1 mm,
- blocage en plomb d'épaisseur 8 mm,
- distance source-film : 1400 mm.

La densité obtenue est de $3,5 \pm 0,25$ et la sensibilité radiographique mesurée à l'aide d'indicateurs de qualité d'image à gradins et à trous du type AFNOR est de 1,3 %.

L'interprétation des clichés a montré 7 indications réparties sur la longueur du joint.

1.2. Contrôle manuel par ultrasons

Il est effectué à partir des deux faces du bloc et de part et d'autre du cordon en ondes transversales à 2 MHz sous des incidences de 45° et 60°. L'exploration est ainsi réalisée suivant 8 directions.

L'étalonnage est réalisé sur la génératrice de trous de 2 mm de diamètre situés à différentes profondeurs.

Le seuil de notation correspondant aux indications dont l'amplitude dépasse 25 % de l'amplitude de référence a conduit à noter 31 indications dont 11 sont localisées à moins de 4 mm des surfaces du joint.

2. Contrôles automatiques par ultrasons

2.1. Contrôle sous incidence oblique

Ce contrôle est effectué par balayage automatique en immersion à partir des 2 faces du bloc et des 2 côtés de la soudure.

Pour explorer toute l'épaisseur du joint, il a été utilisé 3 palpeurs bitocalisés de fréquence 4 MHz, présentant un recul d'eau de 50 mm, générant des ondes transversales inclinées à 45° et possédant un diamètre de tache focale de 3 mm.

Avec un étalonnage sur des génératrices de trous de 2 mm de diamètre et un seuil de notation correspondant à 25 % des amplitudes de référence, 23 indications - dont 6 de surface - ont été notées.

2.2. Contrôle sous incidence normale

Une découpe du bloc, parallèlement au cordon de soudure, a permis d'effectuer un contrôle automatique sous incidence normale dans une direction perpendiculaire au plan de joint.

Le palpeur utilisé est à focalisation sphérique. Il émet des ondes longitudinales à 10 MHz avec un diamètre de tache focale de 1,5 mm. La longueur de la tache focale : 29 mm, couvre entièrement la largeur du cordon de soudure.

L'amplitude de référence est celle de l'écho de la génératrice d'un trou de 1,2 mm de diamètre situé au milieu de la zone contrôlée. Le seuil de notation est fixé à 25 % de cette référence.

Dans ces conditions, 33 indications ont été notées.

3. Détection et localisation des sources d'émission acoustique

3.1. Appareillage utilisé

La chaîne utilisée pour la localisation des signaux d'émission acoustique a été conçue pour localiser sur un plan ; elle comporte par conséquent une maille de quatre capteurs. Dans le cas d'une localisation linéaire, les mesures sont donc redondantes et cette redondance est utilisée pour améliorer la précision de localisation.

Les quatre capteurs constituant la maille sont couplés à l'extrémité de guides d'ondes, soudés sur la tôle et disposés en ligne, parallèlement au chanfrein ; Grâce à la présence de ces guides d'ondes, la température ne dépasse pas 80°C au niveau du capteur malgré une température de préchauffage fixée à 200°C.

3.2. Acquisition et traitement des informations

Chaque événement est caractérisé par l'instant d'arrivée au premier capteur et par les quatre différences de temps d'arrivée entre le premier capteur touché et les trois autres capteurs.

Le nombre élevé d'événements localisés (plus de 1000 par passe) impose l'emploi d'un ordinateur pour l'acquisition et le traitement des données.

Ce traitement utilise une fenêtre spatio-temporelle fonctionnant de la façon suivante :

- . La tôle est divisée en vingt zones égales (d'environ 60 mm de longueur) ; à chaque événement est associé le numéro de la zone à l'intérieur de laquelle l'événement est émis.
- . Les événements issus d'une même zone sont cumulés par période de 10 s à partir de l'instant de début de soudage pris comme origine des temps.

3.3. Analyse des résultats

L'étude de l'évolution en fonction du temps du nombre d'événements cumulés par période de 10 secondes est présentée sur les courbes de la figure 2. Pour les zones sans défaut (2-a) un pic apparaît environ 30 secondes après le passage de l'arc et l'activité décroît ensuite très rapidement.

Le même traitement utilisé sur des zones comportant un défaut (2-b) montre, 60 secondes après le passage de la torche, un deuxième pic d'activité pouvant même, dans certains cas dépasser le pic dû au soudage.

A la suite de ces résultats, il a été décidé de ne retenir que les événements émis 60 secondes après le passage de l'arc.

Pour une passe donnée, une zone est considérée comme émissive si le nombre d'événements cumulés 60 secondes après le passage de l'arc, dépasse 4 fois la moyenne des six zones de plus faible activité de cette passe.

L'application de ce critère conduit à retenir les zones émissives portées sur le tableau de la figure 3. Il schématise une coupe longitudinale du joint avec en abscisses, les zones de localisation de l'émission acoustique et en ordonnées, les numéros des passes soudées.

IV - EXAMENS DESTRUCTIFS

A l'exception des extrémités du bloc, pour chaque zone émissive et chaque indication ultrasonore, un petit bloc a été prélevé, des radiographies aux rayons X et des coupes ont permis de préciser la nature, les dimensions et la position de 28 défauts.

Il est à noter que :

- sur les 12 défauts intentionnels, 7 seulement ont été retrouvés lors des examens destructifs
- parmi les défauts involontaires un grand nombre de défauts du type collage - inclusion a été mis en évidence sur les parois du joint,
- dans plusieurs cas, des indications distinctes en contrôle par ultrasons et par émission acoustique sont apparues constituant un même défaut.

V - DISCUSSION DES RESULTATS

Avant d'aborder la comparaison des méthodes de contrôle mises en oeuvre, quatre remarques générales sont à formuler :

- Cette comparaison ne concerne pas les extrémités du joint pour lesquelles les irrégularités de soudage sont la cause de nombreuses indications tant en ultrasons qu'en émission acoustique,
- Les 5 défauts intentionnels non retrouvés lors des examens destructifs n'ont été détectés par aucune méthode de contrôle non destructif,
- La comparaison a été compliquée par la présence de nombreux défauts involontaires du type collage avec inclusion dont l'origine est vraisemblablement liée au fait que la tête de soudage n'était pas guidée automatiquement par rapport aux bords du chanfrein,
- Plusieurs indications ultrasonores n'ont pas été retrouvées lors des examens destructifs. Elles correspondent soit à des indications ponctuelles, soit à des indications proches de la surface.

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus avec chacune des techniques.

Méthode de contrôle	Nombre total d'indications	Classification des indications en fonction de leur longueur		Nombre d'indications confirmées par examen destructif	
		L ≤ 10	L > 10	L ≤ 10	L > 10
Radiographie (accélérateur linéaire)	7	0	7	0	7
U.S. manuel	31 (dont 11 de surface)	3	28	3	19
U.S. focalisés 45°	23 (dont 6 de surface et 1 non dimensionnée)	11	11	11	7
U.S. focalisés droit	33*	23	10	17	10
E.A.	27 groupes de zones émissives (dont 6 de surface)	-	-	17	
Destructif	29	19	10	-	-

* 4 indications ponctuelles n'ont pas été examinées par découpe et 2 ont été perdues.

Les remarques suivantes se dégagent de leur comparaison :

1. Le contrôle radiographique à l'accélérateur linéaire n'a mis en évidence que les 7 défauts les plus importants.
2. Les contrôles par ultrasons sous incidences obliques (manuel à 2 MHz et focalisés à 4 MHz) ont conduit à noter de nombreuses indications de surface : sur les 11 détectées lors du contrôle manuel, 9 n'ont pas été confirmées lors de la découpe.

A l'exception des indications de surface, la plupart des indications détectées sont communes à ces deux méthodes.

Des différences sont cependant à noter sur la longueur des indications : le contrôle manuel par ultrasons surcôte par rapport au contrôle par ultrasons focalisés et par rapport aux résultats de l'examen destructif.

3. Le contrôle par ultrasons focalisés à 10 MHz sous incidence normale présente la plus grande sensibilité de détection. Le faible diamètre de la tâche focale assure un dimensionnement des défauts comparable à celui obtenu lors de la découpe.

Il convient cependant de rappeler que ce contrôle est effectué après découpe du cordon.

4. Le contrôle effectué en cours de soudage par émission acoustique a mis en évidence 27 groupes de zones émissives (figure 3). A l'exception de 6 indications localisées en surface du joint (non prises en compte par les contrôles ultérieurs du fait de l'arasage du cordon) et de 4 groupes de zones émissives non corrélés, les groupes de zones émissives sont répartis sur les indications des contrôles ultrasonores et de l'examen destructif.
5. Parmi toutes les indications détectées par ultrasons, 2 seulement ne l'ont pas été par émission acoustique. L'examen destructif a permis de préciser qu'il s'agit de fissuration différée.
6. Pour trois groupes de zones émissives l'examen destructif a permis de confirmer la présence d'un défaut non détecté par ultrasons.

VI - CONCLUSIONS

Différentes techniques ont été mises en oeuvre pour le contrôle d'un joint de forte épaisseur, soudé à l'arc submergé.

Au cours du soudage, 12 défauts artificiels ont été implantés dans le joint mais de nombreux défauts involontaires ont également été créés. De ce fait, les résultats portent à la fois sur des défauts artificiels et naturels.

L'examen radiographique à l'accélérateur linéaire n'a permis de déceler que les défauts les plus importants.

Les contrôles par ultrasons effectués avant découpe du cordon ont montré une sensibilité et une précision de dimensionnement variables avec le type de palpeur. Les meilleurs résultats ont été obtenus, après découpe du cordon, avec un palpeur focalisé de 10 MHz.

Les indications d'émission acoustique détectées pendant l'élaboration du joint ont été bien corrélées aux défauts mis en évidence par l'examen destructif.

La poursuite des essais d'émission acoustique sur les deux joints suivants, pour lesquels on peut espérer un nombre plus faible de défauts involontaires permettra de mieux préciser les possibilités d'applications industrielles de la technique.

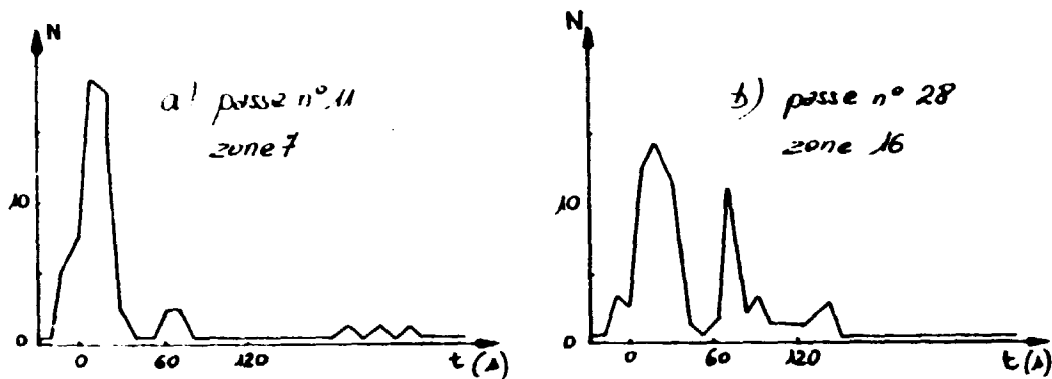
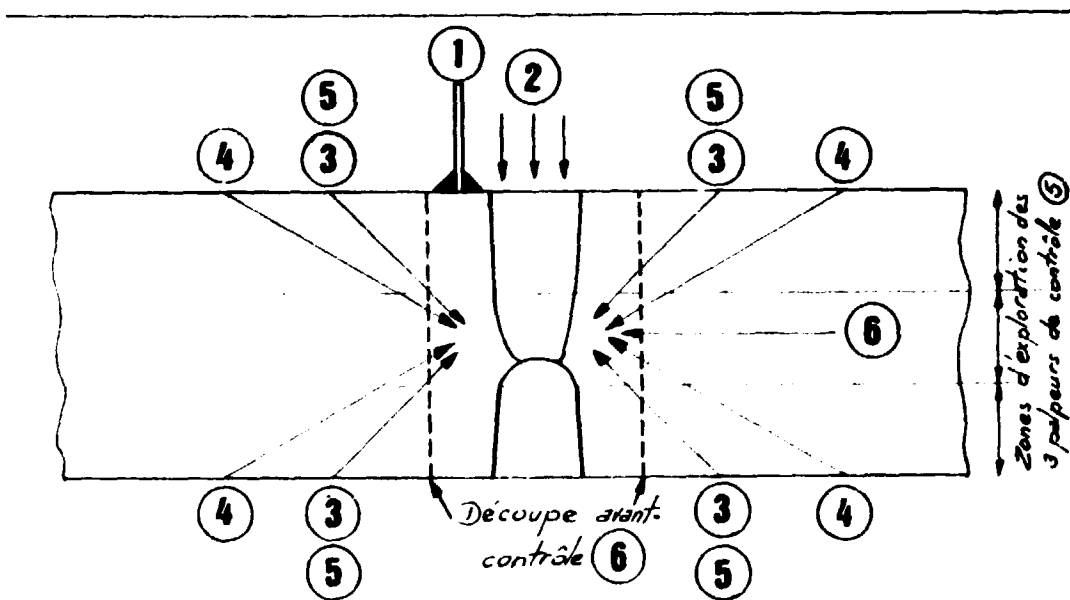


Figure 2. Evolution en fonction du temps, du nombre d'événements cumulés par périodes de 10 secondes.

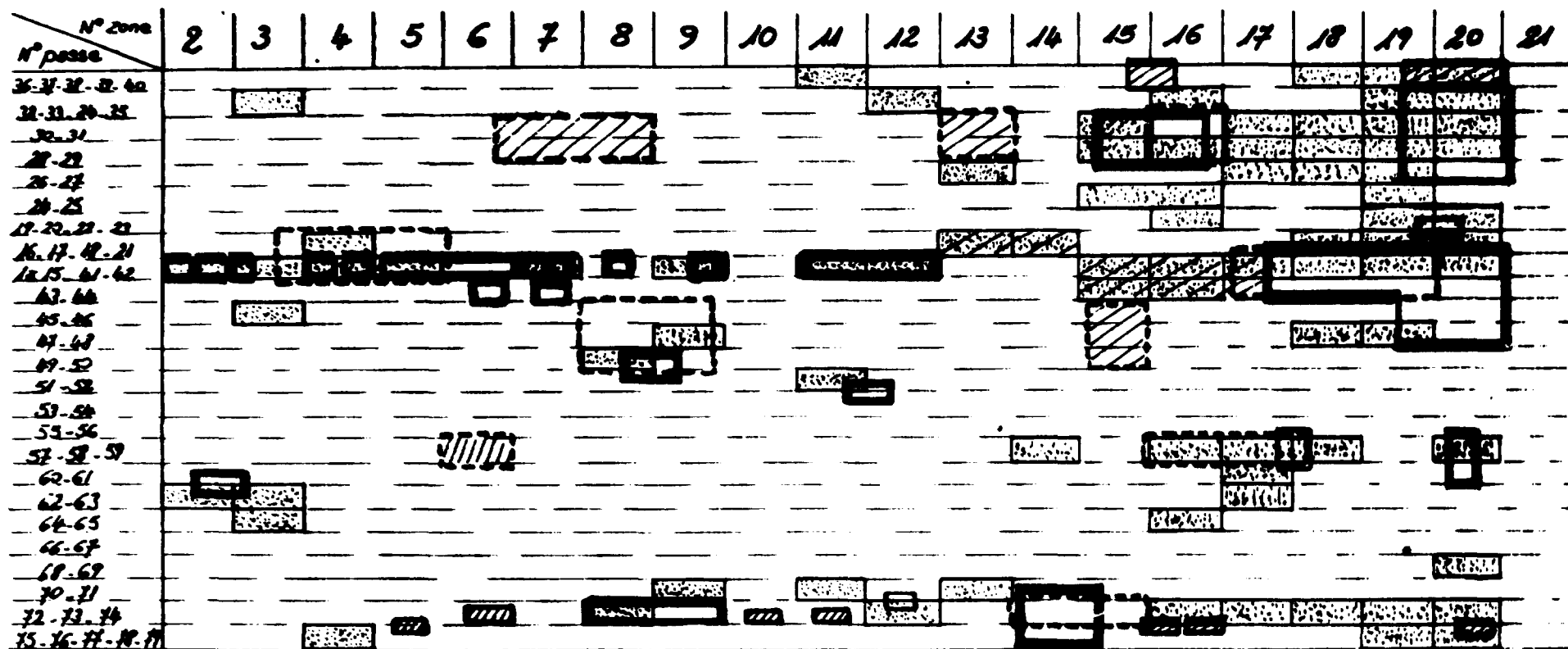
(a) : Zone sans défaut.

(b) : Zone avec inclusion intentionnelle.



- (1). CAPTEUR D'EMISSION ACOUSTIQUE.
- (2). CONTROLE PAR RADIOGRAPHIE.
- (3). CONTROLE MANUEL PAR ULTRASONS A 45°.
- (4). CONTROLE MANUEL PAR ULTRASONS A 60°.
- (5). CONTROLE AUTOMATIQUE PAR ULTRASONS FOCALISES A 45°.
- (6). CONTROLE AUTOMATIQUE PAR ULTRASONS SOUS INCIDENCE DROITE.

Figure 1 : Schéma rappelant les différentes méthodes de contrôle non destructifs mises en oeuvre.



■ INDICATION DES CONTROLES ULTRASONORES.

//// INDICATION NON CONFIRMEE PAR LES EXAMENS DESTRUCTIFS.

□ INDICATION DES EXAMENS DESTRUCTIFS.

▨ EMPLACEMENT DES DEFAUTS INTENTIONNELS.

▧ INDICATION D'EMISSION ACOUSTIQUE.

Figure 3 : TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES CONTROLES.