

# QUELLES ALTERNATIVES A LA GAMMAGRAPHIE à L' IRIDIUM ? ALTERNATIVES TO IRIDIUM GAMMAGRAPHY?

J.Hatsch – D.Chauveau – A.Blettner  
Institut de Soudure Industrie

E-mail : [j.hatsch@institutdesoudure.com](mailto:j.hatsch@institutdesoudure.com) – [d.chauveau@institutdesoudure.com](mailto:d.chauveau@institutdesoudure.com) –  
[a.blettner@institutdesoudure.com](mailto:a.blettner@institutdesoudure.com)

## Résumé

La gammagraphie à l'Iridium est un procédé très largement utilisé pour le contrôle des ensembles mécano-soudés, des tuyauteries, des appareils à pression, des charpentes et notamment de leurs soudures.

L'inconvénient majeur de l'emploi de ce procédé réside dans les risques occasionnés par les rayonnements ionisants qui imposent la mise en place d'un périmètre de sécurité contraignant pour l'exploitant ou qui nécessitent d'avoir recours à des travaux en horaire décalé, ce qui génère des coûts indirects importants. D'autre part, les nouvelles contraintes réglementaires françaises en terme de transport, stockage et administration des sources radioactives rendent toujours plus complexe leur emploi en conditions industrielles et conduisent à des coûts de mise en œuvre de plus en plus élevés

Il n'est pas possible de remplacer la gammagraphie à l'Iridium par une seule technique CND. Cependant des solutions alternatives sont envisageables dans certains cas. Leur possible mise en œuvre est tributaire du secteur industriel, du type de composant à inspecter, de la nature des matériaux, du type de soudure (bout à bout, piquage ...), de l'orientation et de la position des défauts à détecter et de l'environnement dans lequel se trouve le composant à inspecter.

Les possibilités offertes par les techniques alternatives candidates, ainsi que leurs domaines d'application respectifs et les verrous freinant leur développement sont passés en revue.

## Abstract

*Gammagraphy is a very widely used process for testing welded steel constructions, pipings, pressure vessels, frameworks and particularly welds in them. The major disadvantage of this NDT method lies in the risks due to ionizing radiations requiring the setting up of a safety perimeter being a constraint to the owner or involving a shift system for the personnel and thus heavy indirect expenditures. In addition, the recent French regulatory pressure as for transport, storage, and radioactive sources management make their use still more complicated under industrial conditions and their setting up more and more expensive.*

*It seems difficult that only one NDT technique could substitute for gammagraphy. Various alternative solutions are possible. Their setting up depends on the type of component to be inspected, on the nature of material, on the type of welding (butt weld, nozzle), on the orientation and position of the defects to be detected as well as their environment.*

*This conference surveys the techniques liable to substitute for gammagraphy as well as their scope of application and the hindrances limiting their development.*

## INTRODUCTION

Le problème de substitution de la gammagraphie à l'Iridium pour le contrôle des soudures est complexe. En effet ce procédé est extrêmement polyvalent, ne nécessite pas de source d'énergie et est fortement ancré dans le paysage industriel. Les industries utilisatrices disposent d'un retour d'expérience important, de compétences internes et externes et peuvent s'appuyer sur une population importante de personnels certifiés. Le contrôle par gammagraphie présente également l'avantage de pouvoir être mis en œuvre sans avoir besoin de décalorifuger les tuyauteries et permet de contrôler simultanément les internes.

Il n'est pas possible de remplacer la gammagraphie à l'Iridium par une seule technique CND. Cependant des solutions alternatives sont envisageables dans certains cas. Leur mise en œuvre est toutefois tributaire du secteur industriel, du type de composant à inspecter, de la nature des matériaux, du type de soudure (bout à bout, piquage ...), de l'orientation et de la position des défauts à détecter et de l'environnement dans lequel se trouve le composant à inspecter.

Quelles sont donc les alternatives possibles à l'Iridium 192 ?

Pour tenter de répondre à cette question, l'Institut de Soudure a lancé :

- en 2006 un projet de recherche sous la forme d'une étude associative appelé ALTER-X afin d'évaluer les possibilités et limites d'application des diverses techniques de substitution candidates. Ce projet est conduit en partenariat avec EDF, GRT Gaz, TECHNIP, et TOTAL,
- des actions internes de développement visant à diminuer le débit de dose des opérateurs effectuant des opérations de gammagraphie ce qui a notamment débouché sur le développement d'un équipement appelé  $\gamma$ -Prox.

## LE PROJET ALTER-X

### Objectifs du projet

Les objectifs du projet sont les suivants :

- I) Réaliser l'état de l'art des moyens de contrôle non destructif applicables en particulier aux soudures de tuyauteries avec leurs avantages / inconvénients et limites.
- II) Évaluer les possibilités d'application des techniques les plus prometteuses comme par exemple : radiographie avec tubes à rayons X de dernière génération, radiographie numérique avec la dernière génération de plaque phosphore, écran C-MOS ou silicium amorphe, emploi du Sélénium 75, TOFD, « phased array », traducteurs ultrasonores spéciaux... Le choix des techniques à expérimenter a été effectué d'un commun accord avec les participants, à l'issue de l'étude bibliographique et des essais exploratoires.
- III) Définir les domaines d'application et les limites de ces techniques en fonction des caractéristiques géométriques du composant à inspecter : diamètre, épaisseur, proximité de la soudure dans le cas d'un té ou d'un coude ou de variation géométrique (désalignement, délardage ...). L'évaluation des techniques est prévue au moyen de contrôles réalisés sur maquettes et d'un nombre limité d'essais sur site.
- IV) Rédiger des recommandations générales de contrôle pour les techniques CND les plus prometteuses.

Les résultats majeurs attendus sont les suivants :

- Améliorer la sécurité et la radioprotection,
- Diminuer les coûts indirects,
- Définition des possibilités de substitution de la gammagraphie pour les différents composants d'une canalisation et les performances susceptibles d'être obtenues en comparaison avec les contrôles par l'Iridium 192,
- Emission des recommandations intégrant des propositions de critères d'acceptation pouvant faire référence entre les parties concernées par le contrôle des soudures.

## **Bilan de l'état de l'art**

Une étude bibliographique de la littérature technique et commerciale publiée en langue française et anglaise depuis les 5 dernières années sur le sujet a été effectuée. Les bases de données spécialisées ainsi qu'Internet ont été interrogées. Les revues et les actes de conférence disponibles à l'Institut de Soudure ont été exploités.

L'état de l'art a été réalisé de façon aussi exhaustive que possible et a porté sur toutes les méthodes : rayonnements ionisants, méthodes électromagnétiques, méthodes ultrasonores. Les résultats d'études telles que l'étude des performances comparées des ultrasons automatiques (AUT), et de la radiographie pour le contrôle des soudures de pipe de l'Université de Gand ainsi que les études KINT et TOFDPROOF concernant notamment les probabilités de détection comparées du TOFD et des autres techniques CND conventionnelles, ont été inclus dans cette revue et les documents publics correspondants sont accessibles aux partenaires.

L'état de l'art a permis de recenser 520 références dont 180 se sont révélées particulièrement pertinentes et à partir desquelles un rapport de synthèse a été rédigé.

L'étude bibliographique décrit pour chacune des techniques recensées:

- Le principe,
- Les normes, codes et guides en vigueur
- Le niveau de qualification requis de l'opérateur
- Les domaines d'application (matériau, épaisseur, géométrie...)
- Les avantages et limitations
- Leur mise en œuvre
- Les performances industrielles par rapport à la radiographie Ir-192

A l'issue de l'état de l'art, les techniques jugées les plus intéressantes dans le cadre du projet Alter-X pour constituer une alternative à la gammagraphie Ir-192 sont les suivantes :

- Le Time Of Flight Diffraction (TOFD)
- Les Phased Array
- Les techniques électromagnétiques
- Les techniques de radionumérique exploitant les plaques images au phosphore
- Les techniques de radioscopie

Des sources de rayonnement alternatives à l'Ir 192 (Se 75, RX ) sont également retenues pour l'évaluation.

Le tableau 1 ci-dessous propose un classement des différentes techniques sur la base d'une note de 0 à 5 :

a) 0 à 1 signifie que la technique n'est pas applicable ou très mal adaptée

b) 2 à 3 signifie que la technique est utilisable dans des cas particuliers

c) 4 à 5 signifie que la technique est bien adaptée

**Nous attirons l'attention sur le fait que ce classement n'est qu'indicatif et basé sur les données issues de l'étude bibliographique effectuée dans le contexte du projet.**

Critères	Ir 192	Se 75	Radionumérique X plaque image phosphore	Radioscopie X	TOFD	UT Multi- éléments	Imagerie UT	Electro- magnétique
Maturité	*****	****	***	**	***	**	****	**
Personnels qualifiés	*****	*****	***	***	***	**	**	**
Autonomie - Portabilité	*****	*****	***	***	***	***	***	****
Robustesse	*****	*****	***	***	***	***	***	****
<b>Normes Européennes CND (TC 138)</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui (ET)
<b>Normes Européennes Soudage (TC 121)</b>	Oui	Oui	Oui (RT conventionnel)	Oui (RT conventionnel)	Oui	Non	Non	Oui (ET)
<b>Critères d'acceptation Européen</b>	Oui	Oui	Oui (RT conventionnel)	Oui (RT conventionnel)	Non (2009 ?)	Oui (UT manuel)	Oui (UT manuel)	Non
<b>*Soudures Bout à bout</b>	5	5	3 #	3 #	4	4	4	5
<b>* Soudures Tube/coude</b>	5	5	3 #	3 #	2	3	3	5
<b>* Soudures Piquage</b>	5	5	3 #	3 #	2	3	3	5
<b>Composants à surfaces inaccessibles (Ex: sous calorifuge)</b>	5	5	5	5	0	0	0	0
<b>Voir simultanément les Internes</b>	5	5	5	5	0	0	0	0
<b>e ≤ 5 mm</b>	2	3	4	4	2	2	3	3 à 4
<b>5 &lt; e ≤ 10 mm</b>	3	3 à 4	5	5	3	3	3	2
<b>10 &lt; e ≤ 40 mm</b>	3	5	4	4	5	5	5	0
<b>40 &lt; e ≤ 80</b>	4	1	3	3	5	5	5	0
<b>e &gt; 80 mm</b>	2	0	2	1	5	5	5	0
<b>Etat de Surface - Géométrie</b>	5	4	4	4	3	2	2	3
<b>Acier austénitique</b>	5	5	5	5	2	3	3	4
<b>Acier réfractaire austénitique</b>	5	5	5	5	0	1	0	3
<b>Acier au carbone</b>	5	5	5	5	5	5	5	3
<b>Défauts Plans: Inclinaison &lt; 10°</b>	3 à 4	4	5	5	5	5	3	4
<b>Défauts Plans: Inclinaison &gt; 10°</b>	2	3	3	3	5	5	4	4
<b>Défauts Volumiques Allongés</b>	4	5	5	5	5	5	5	5
<b>Piqures, Soufflures</b>	4	5	5	5	3	2	2	2

\* dans un contexte de contrôle sur site

# La technique est actuellement en pleine évolution (sensibilité, définition...)

Tableau 1 : Tableau de synthèse de l'état de l'art

## Essais exploratoires

Les figures 1 et 2 illustrent les bonnes qualités d'image susceptibles d'être obtenues en radionumérique ou en radioscopie pour le contrôle de soudures.

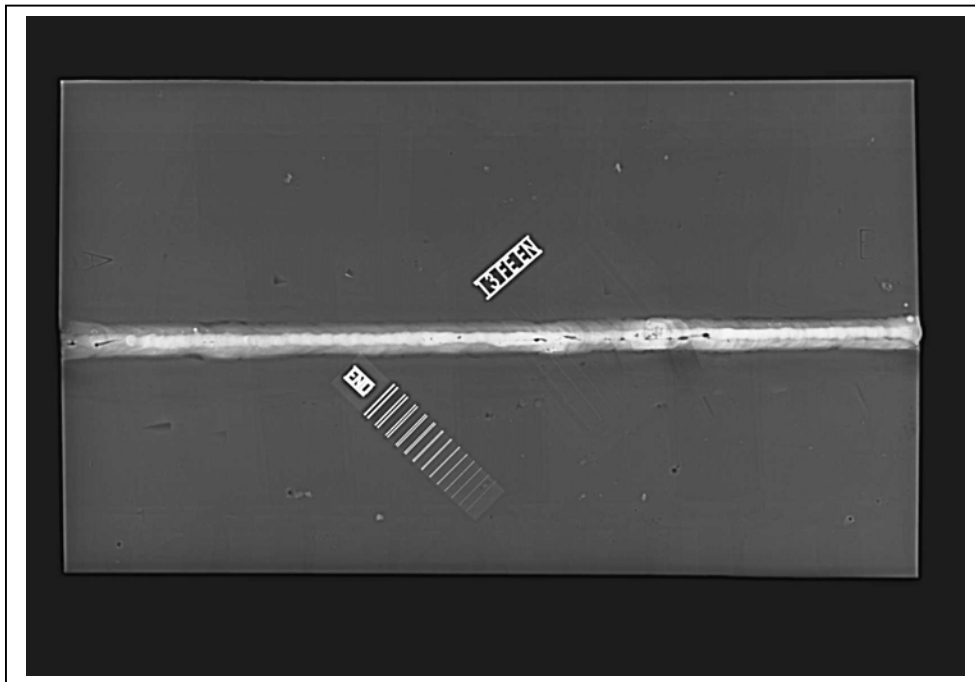


Figure 1 : Radionumérique plaques phosphores - acier carbone épaisseur 4 mm (avec RX 100 kV)

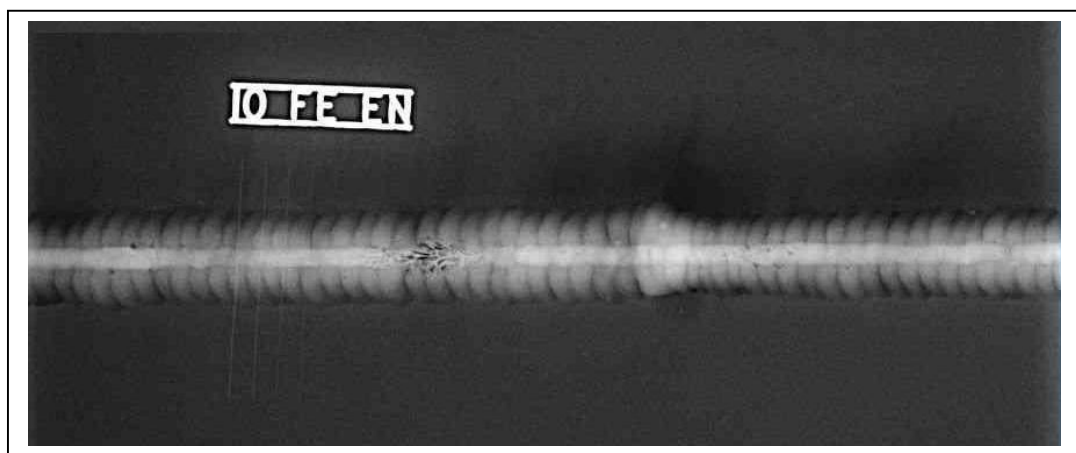


Figure 2 : Radioscopie écran Si-amorphe - acier carbone épaisseur 12 mm (avec RX pulsés – 150 kV)

## Programme d'essais

Afin de déterminer les domaines d'application et les performances de chacune des techniques CND par rapport à la gammagraphie, un programme d'essais a été défini. Ce programme a nécessité la réalisation de maquettes. Celles-ci ont été définies en accord avec les partenaires du projet afin d'être en mesure de se placer dans des cas de figures concrets représentatifs des problématiques rencontrées en milieu industriel.

Les maquettes qui ont été réalisées couvrent un large éventail de configurations en jouant notamment sur :

- La nature du matériau : acier carbone (S355 principalement) et acier inoxydable 304L,
- La gamme d'épaisseur: de 2 mm à 60 mm
- La géométrie des pièces : Tubes de 2" à 10" et tôles planes
- La géométrie d'assemblage soudé : soudure bout à bout, piquage, tube/coude, tube /T, tube/bride, débardage...
- Différentes natures de défauts (implantés dans chaque soudure) : Fissure, Manque de fusion, Manque de pénétration, Soufflure, Nid de Soufflures, Caniveau, Inclusion...

La banque de maquettes est constituée d'une dizaine de pièces (avec plusieurs configurations) et comporte 80 défauts intentionnels (80 % sont implantés dans des pièces en acier au carbone) et quelques exemples de réalisation sont données en figure 3.



*Figure 3 : Exemples de maquettes réalisées*

## Evaluation des techniques candidates

L'objectif de cette phase est de comparer les performances des techniques CND alternatives par rapport à la gammagraphie Ir-192 grâce aux tests réalisés conformément au programme d'essai. Pour ce faire, des gammagraphies de références de toutes les maquettes ont été réalisées selon les exigences du CODAP/CODETI et constituent les données prises comme référence pour comparer les performances des techniques de CND alternatives.

Les techniques suivantes sont évaluées selon les axes de progrès suivants :

### TOFD :

- Petits diamètre et faibles épaisseurs
- Géométries complexes (piquage, tube/coude, délardage...)
- Acier Inoxydable austénitique
- Détection des défauts transverses

### Phased Array :

- Définition des modes de balayage et des modes de visualisation à retenir pour l'examen
- Géométries complexes (piquage, tube/coude, délardage...)
- Acier Inoxydable austénitique

### Techniques de radiographie numérique :

- Déterminer les meilleures associations source de rayonnement / détecteur pour une qualité d'image proche de la gammagraphie Ir-192 avec film argentique et un faible débit de dose.
- Déterminer les paramètres susceptibles d'avoir un impact économique comme par exemple : le nombre d'exposition, le coût des consommables ou de l'investissement, l'augmentation des réparations.

### Techniques Electromagnétiques :

- Tester des nouvelles techniques électromagnétiques permettant de contrôler de plus fortes épaisseurs ainsi que les aciers ferromagnétiques

Les techniques de CND alternatives sont mises en œuvre conformément au programme d'essais (prévu pour s'achever fin d'été 2008). Les résultats et paramètres d'examen relatifs aux contrôles effectués sont enregistrées dans une base de données. Cette base appelée « IS CNDatabase » permet de réaliser une étude statistique multicritères des résultats des contrôles (suivant le type de défaut détecté et le type de pièce contrôlée...) et de déterminer les performances de détection des techniques par rapport aux données issues des radiographies de référence. Les figures suivantes présentent quelques contrôles réalisés dans le cadre du projet Alter-X.



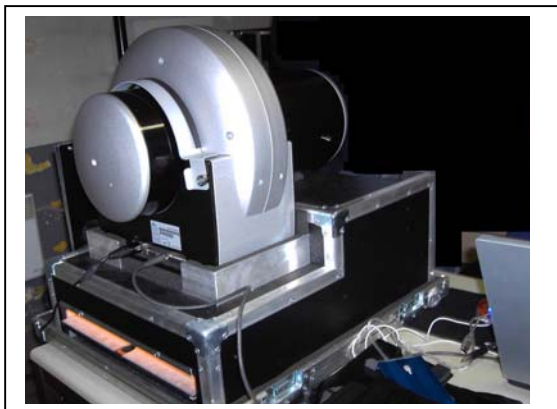


Figure 4 : Tests d'un système de radionumérique plaque image phosphore

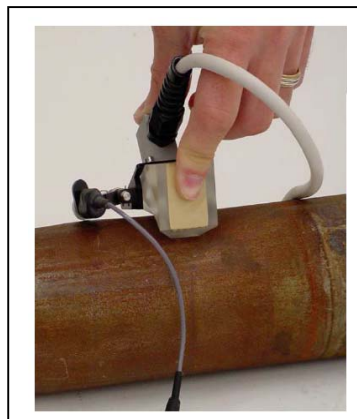


Figure 5 : Contrôle Phased Array d'un tube

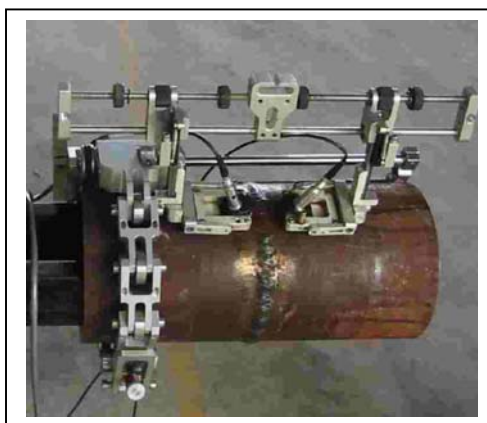


Figure 6 : Contrôle TOFD d'une soudure de tuyauterie

La base de données « IS CNDatabase » permettra notamment d'effectuer:

- une comparaison graphique des résultats sous la forme d'une représentation des indications détectées suivant leur longueur et dans l'épaisseur des pièces contrôlées, et en fonction de la préparation des soudures.
- une détermination des courbes POD (Probability Of Detection)
- une édition d'indicateurs de performances techniques (par exemple comparaison par technique du nombre de défauts plans détectés et non détectés) et économique (par exemple % de longueur à réparer après application des critères d'acceptation)

Les figures 5 à 6 illustrent les principales fonctionnalités implémentées. **Les valeurs présentées ici sont données à titre d'exemple et ne sont pas représentatives des résultats obtenus dans le projet.**

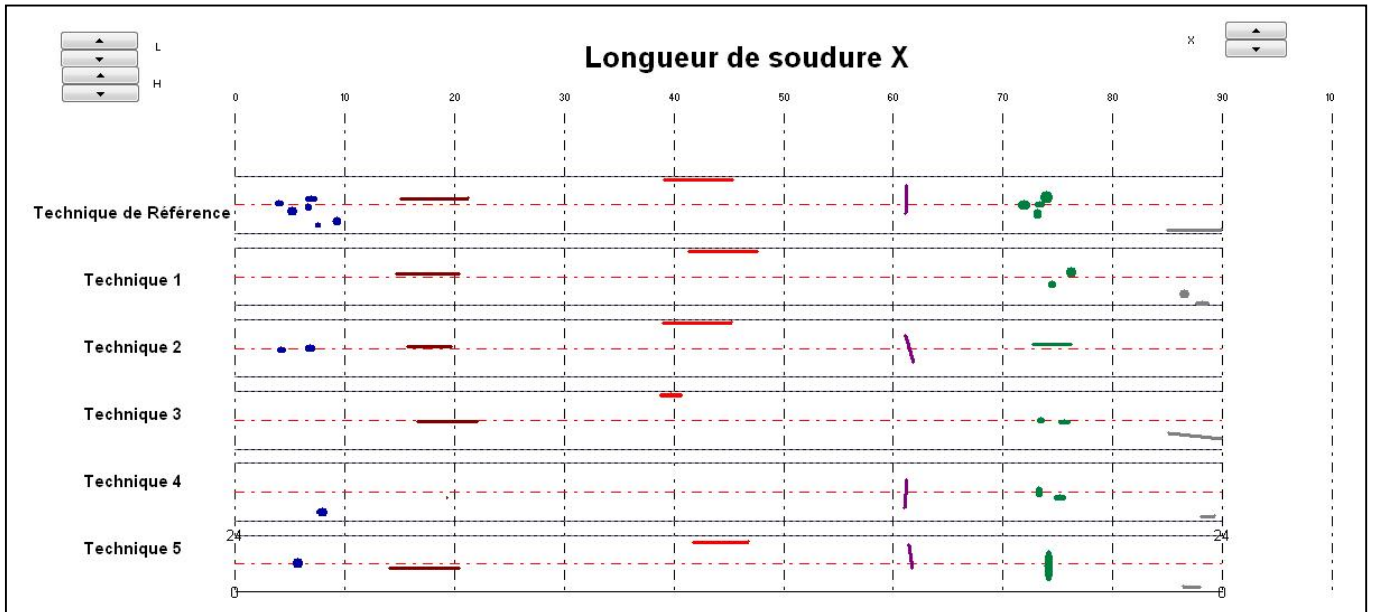


Figure 7 : Comparaison graphique de détection de défauts dans les soudures par les différentes techniques CND.

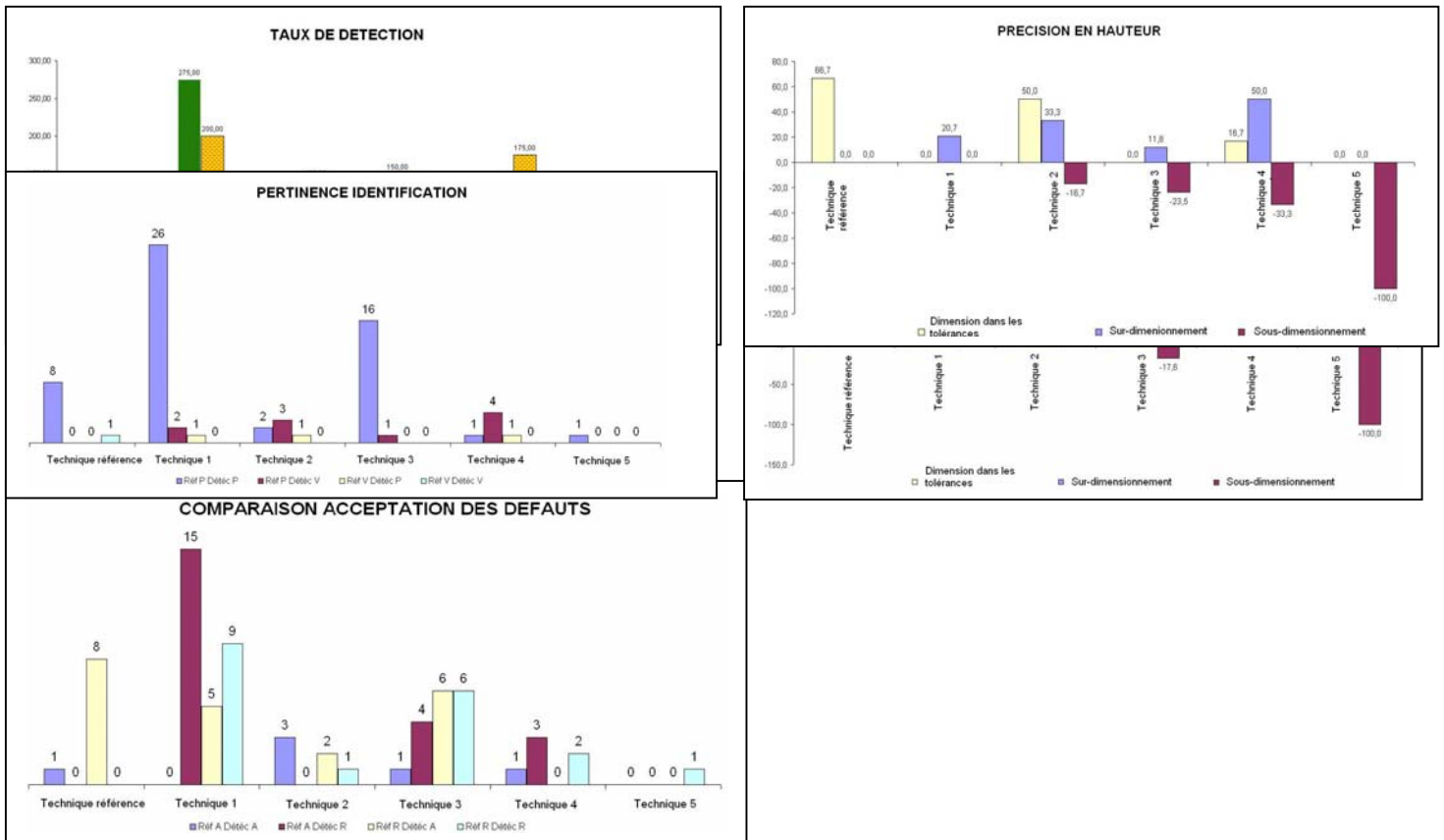
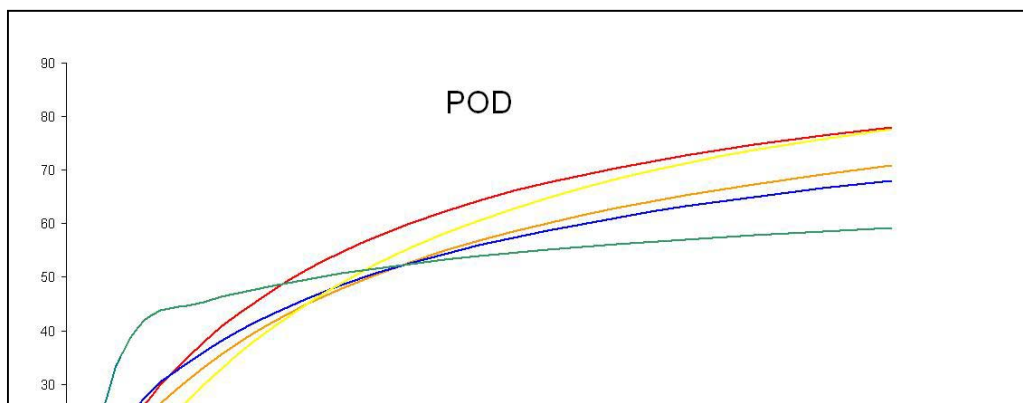


Figure 8 : Exemple de traitements statistiques



*Figure 9 : Comparaison de Probabilité de Détection (courbes POD) pour les différentes techniques de CND suivant la dimension des défauts (Longueur ou Hauteur).*

A l'issue de la phase expérimentale, un dossier de synthèse sera constitué qui permettra de définir avec précision pour chaque technique :

- Le domaine d'application,
- Les avantages / inconvénients,
- Les limites,
- Les cadences d'inspection,
- Les coûts de mise en œuvre.

Une recommandation générale sera établie à l'issue du programme dans laquelle sera définie là où les stratégies possibles de substitution pour le contrôle des soudures de tuyauterie.

## **LE CONCEPT $\gamma$ - PROX**

La réglementation applicable lors de l'examen d'une pièce ou d'un objet à l'aide d'un appareil mobile émetteur de rayonnements ionisants impose la délimitation d'une zone d'opération matérialisée par un balisage. A la limite de celui-ci le débit d'équivalent de dose moyen évalué sur la durée totale de l'opération doit rester inférieur à 0,0025 mSv/h.

Ce périmètre de sécurité, dont l'accès est limité aux travailleurs devant nécessairement être présents (Catégorie A), peut atteindre des valeurs importantes. A titre d'exemple un examen radiographique effectué à l'aide d'une source radioactive d'Iridium 192 d'activité courante de 0,93 TBq (25 Curies) et dont les temps cumulés d'exposition seraient de 4h30 pour une durée d'opération de 7h00 impose la délimitation d'une zone d'opération de rayon égal à 195 mètres !

Afin de réduire cette zone, Institut de Soudure Industrie a développé un dispositif innovant adapté au concept de Gammagraphie de Proximité et capable de fonctionner avec les gammagraphes autorisés sur le territoire français. Ce dispositif appelé «  **$\gamma$ -Prox** » permet de renforcer la protection des opérateurs par une réduction des débits de rayonnements ionisants tout en diminuant la distance de balisage. Deux demandes de brevets ont été déposées, l'une sur le système de positionnement et l'autre sur le système de collimation.

Le système est constitué principalement :

- d'un dispositif précis de positionnement et de fixation sur l'objet à examiner,
- d'un système de collimation (sans uranium appauvri) optimisé en termes de rapport efficacité/masse du collimateur et adapté à une géométrie et des conditions de tirs donnés,
- d'écrans absorbants permettant de limiter les débits de rayonnement émergents.

Ce système a été mis en œuvre pour la première fois sur un de ses chantiers en Guyane, afin d'assurer le contrôle par gammagraphie à l'Iridium 192 de soudures circulaires de pipelines. Une grande partie de la ligne de tuyauteries longeait une route située à seulement 10 m des pipelines, qu'il n'était pas envisageable de couper pendant les travaux de radiographie.

6 équipements ont été réalisés :

- 3 pour le contrôle au contact sur DN 100 à 250
- 3 pour le contrôle en tir perpendiculaire et ellipse sur DN 50

Les valeurs mesurées sur site par une tierce partie ont démontré l'efficacité du  $\gamma$ -Prox. En effet le débit d'équivalent de dose moyen mesuré à 10 m était de 0,0016 mSv/h, soit largement inférieur à la valeur autorisée de 0,0025 mSv/h par l'arrêté zonage.



Fig xx : Le  $\gamma$ -Prox (version contact) en situation de contrôle sur une canalisation DN 250 - Chantier en Guyane

Le  $\gamma$ -Prox permet donc à la fois de réduire les risques d'irradiation des opérateurs effectuant les contrôles par radiographie et des tiers susceptibles de se trouver dans le domaine public et présente de nombreux avantages :

- simplicité de mise en œuvre sans recours à des moyens métrologiques sophistiqués,
- réduction importante des débits équivalent de dose moyen,
- amélioration de la qualité par une amélioration de la répétitivité,
- adaptable aux gammagraphes du commerce autorisés sur le territoire français sans modification des accessoires.

Une nouvelle série d'équipements exploitable avec une source de Sélénium 75 est actuellement en cours de validation. En effet, les caractéristiques en termes d'énergie de ce radioélément vont permettre de réduire de manière encore plus significative les débits équivalents de dose moyens, ce qui va permettre d'envisager la mise en place du balisage à moins de 3 m.

## CONCLUSIONS

Dans un contexte réglementaire toujours plus exigeant en termes de radioprotection s'exerçant sur les activités utilisatrices de l'Iridium 192, le projet Alter-X mené par l'Institut de Soudure va apporter des éléments de réponse aux parties souhaitant trouver une alternative à cette technique dans le cadre du contrôle des soudures de leurs installations.

Le projet Alter-X, débuté en novembre 2006 et d'une durée de deux ans a permis d'identifier des techniques candidates alternatives à la gammagraphie, parmi lesquelles les techniques TOFD, Phased Array, les techniques de radiographie numérique et des techniques électromagnétiques sont celles qui présentent le plus grand potentiel. Le test de ces techniques sur différentes configurations de maquettes et selon des axes d'études précis, vont permettre de définir clairement les domaines d'application, les performances et les limites de ces techniques en vue de définir les possibilités de remplacement de la gammagraphie à l'Iridium 192.

Les techniques de CND alternatives ont été sélectionnées pour leur capacité à se substituer à la gammagraphie, leur maturité technique et leur facilité d'industrialisation. Il est cependant d'ores et déjà évident que l'on ne pourra remplacer la gammagraphie à l'aide d'une seule technique. La substitution de la gammagraphie ne pourra s'effectuer qu'en associant différentes techniques de CND entre elles et selon des recommandations qui auront été définies au cours du projet.

Les résultats attendus à l'issue de ce projet permettront d'améliorer la sécurité sur site de production, en permettant de réduire fortement voire de supprimer les risques liés à l'utilisation de rayonnements ionisants, et permettront d'accroître la productivité et la compétitivité des entreprises concernées en réduisant les temps d'arrêts et les coûts indirects liés au contrôle.

Les recommandations qui seront éditées pourront constituer un document de référence pour la profession. En effet, le manque de normes et de critères d'acceptation, la lenteur du système de normalisation européen, ainsi que le conservatisme des différentes parties impliquées dans la chaîne du CND sont autant de facteurs limitatifs pour l'intégration de nouvelles techniques de contrôle en milieu industriel.

Au cas où la gammagraphie à l'Iridium 192 ne pourrait être remplacée, l'utilisation de sources de rayonnement de basse énergie type Sélénium 75 exploitée dans des dispositifs spéciaux comme le  $\gamma$ -Prox constitue une réponse alternative intéressante.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions les partenaires du projet ALTER-X : EDF, GRT GAZ, TECHNIP et TOTAL d'avoir accepté la publication de la présente conférence.