

# Quelques remarques à propos des informations recueillies auprès d'EDF et de la DSIN sur les incidents ayant affecté les lignes de vapeur de FESSENHEIM 1

Bella BELBEOCH, janvier 1992

Il va être procédé d'ici deux ans au remplacement de tous les piquages 20"/32" [50,8 cm/81,3 cm] sur Fessenheim 1 et 2, Bugey 2 à 5 (Palier CPO).

M. Lavérie, Directeur de la DSIN (Direction de la Sécurité des Installations Nucléaires) nous indique :

" En effet, le maintien en l'état de ces matériels nécessiterait de continuer à mettre en oeuvre un programme de suivi en service relativement important et, de plus, particulièrement complexe en raison de l'état inclusionnaire des tôles" (lettre du 13/12/1991)

A partir des informations fragmentaires recueillies auprès d'EDF et de la DSIN nous commentons cette "complexité" qui nous amène à poser quelques questions.

## I) La qualité métallurgique de l'acier ; l'état inclusionnaire des tôles

Le piquage de la ligne de vapeur n°1 de Fessenheim 1 déposé en sept.1991 ( fissure de 11 cm sur 3 cm dans l'épaisseur du tuyau) n'est pas le seul piquage de ce type à avoir été déposé et expertisé. Un piquage analogue, sur la ligne de vapeur 3 de Fessenheim 1 a été enlevé en 1986 et soumis à expertise. Ces deux piquages présentent des inclusions :

inclusions d'alumine dans la soudure du piquage déposé en 1986

inclusions de sulfures dans celui déposé en 1991

Ces piquages sont faits en tôles "roulées-soudées". Les défauts redoutés à ce niveau sont les fissurations et l'arrachement lamellaire qui peuvent conduire à l' "ouverture-guillotine" du piquage (et donc à la dépressurisation brutale des générateurs de vapeur situés en amont).

Or il est bien connu, d'après la littérature, que "l'état inclusionnaire des tôles pour constructions soudées, affecte la ductilité suivant le travers-court [l'épaisseur] et par là même détermine la sensibilité à l'arrachement lamellaire lors du soudage ou en service" (H. Aubert et al, Soudage et Techniques Connexes, mars-avril 1977, p.93). De nombreuses publications font état dès les années 70 de la nécessité de limiter les risques d'arrachement lamellaire par un choix d'aciers exempts d'inclusions

Pour le piquage soumis à expertise depuis septembre 1991 et qui présente des inclusions de sulfures il est précisé que " l'arrachement lamellaire provient de la décohésion d'inclusions de sulfures nombreuses à cet endroit" (lettre

de M. Lavérie, 13/12/1991 Annexe 2) ce qui indique bien l'accord des experts métallurgistes d'EDF sur ce point : il y a corrélation entre arrachements lamellaires et inclusions.

On peut s'étonner qu'un acier présentant des inclusions nombreuses, donc un acier "défectueux" ait été utilisé pour la fabrication de ces piquages en "roulé-soudé" comme si ces pièces n'avaient aucune importance au niveau de la sûreté de l'installation. L'obligation pour l'exploitant de changer d'ici deux ans tous les piquages de ce type montre qu'il n'en est rien.

Une des causes générales qui a été avancée pour expliquer la présence de ces inclusions serait la suivante : lors de l'élaboration du lingot (qui sera laminé ultérieurement) il y a, après refroidissement, ségrégation d'impuretés dans les parties haute et basse du lingot de coulée (la "tête" et le "pied") qu'il est nécessaire d'éliminer. Il faut bien sûr que cette "chute" soit suffisante pour que le reste du lingot soit exempt d'inclusions. Si ce n'est pas le cas celles ci seront laminées dans la tôle ce qui fragilisera la tôle obtenue. Les contraintes de soudage favoriseront l'arrachement lamellaire.

Ainsi il s'avère que :

a) le contrôle de l'exploitant a été insuffisant lors de l'élaboration du lingot de cet acier, avant laminage.

b) ce contrôle a également été insuffisant après laminage, les examens des tôles par ultra-sons et autres méthodes auraient dû révéler la présence d'inclusions et faire rejeter ces tôles comme impropres à la fabrication de pièces.

c) le choix de l'acier : il ne semble pas que la meilleure nuance d'acier ait été choisie (A 48 C2) alors que certaines nuances dites "Z" sont améliorées dans le sens de l'épaisseur (le "travers-court") pour diminuer les risques d'arrachement lamellaire. Ces nuances spéciales existaient au moment du choix de l'acier de ces piquages, mais bien sûr à prix plus élevé. (Consulter par exemple la documentation sur les Produits Sidérurgiques français. Office Technique de l'Utilisation de l'Acier, OTUA)

d) la fabrication de ces piquages à partir de tôles en "roulé-soudé" était-elle la meilleure solution ?

EN CONCLUSION il apparait nécessaire :

- de répertorier l'ensemble des pièces fabriquées à partir de ces tôles défectueuses et de les contrôler quant à leur éventuelle fissuration. Il n'y a peut-être pas eu que les piquages du palier CPO (Fessenheim et Bugey) élaborées à partir de ces tôles.

- d'obtenir d'EDF un meilleur contrôle des matériaux utilisés particulièrement déficient dans le cas précis révélé par les incidents sur les piquages.

Qu'en est-il pour d'autres matériels ?

- Il serait nécessaire qu'EDF utilise les meilleures qualités de matériaux existant sur le marché, lors de ses choix, et les meilleurs procédés de fabrication.

## II) Les "postulats" EDF et la maintenance des installations.

La périodicité du contrôle des piquages de la ligne de soupapes par ultra-sons était de 5 ans, d'où les contrôles effectués en 1986 et 1991. Elle a été établie suite aux avis des métallurgistes conseillant EDF et les Autorités de Sécurité concernant les risques d'arrachement lamellaire. L'analyse des incidents nous conduit à penser que ces avis reposent sur des postulats.

### 1-1er "postulat" : sur l'arrachement lamellaire

Tout se passe comme si, pour ces métallurgistes, les arrachements lamellaires ne se produisaient que lors du soudage sous l'effet des contraintes thermiques, et qu'ensuite, en service il n'y avait pas, ou que peu, d'évolution de ces arrachements.

Si après soudage les contrôles par ultra-sons montrent des "indications" de faible amplitude, inférieures à ce qu'on se fixe comme seuil de tolérance, la situation est jugée satisfaisante. C'est selon ce critère que la périodicité des contrôles a été fixée à 5 ans. Une telle position n'a pas été favorable à la mise en place d'un système performant de contrôle.

Or le postulat : "l'arrachement lamellaire évolue peu après soudage" s'est avéré faux puisque sur le piquage déposé en sept.1991(ligne de vapeur 1 de Fessenheim 1) les indications ultra-sonores relevées en 1986 étaient "minimes" et évaluées à quelques millimètres seulement. Cinq ans plus tard le défaut fait 11 cm sur 3 dans l'épaisseur alors que le tuyau a 8 cm d'épaisseur. Les contrôles après dépose confirment les dimensions du défaut indiquées par ultra-sons. Il s'agit "d'une succession de zones d'arrachements lamellaires et de pontages entre ces zones";

Les métallurgistes d'EDF ont, paraît-il, été surpris des dimensions actuelles du défaut qui, a priori, ne devait pas évoluer ou seulement très peu à partir des quelques millimètres initiaux de 1986. Ce qui est surprenant c'est l'optimisme de départ étant donné la complexité des problèmes posés par l'arrachement lamellaire tels qu'ils sont décrits dans la littérature pour les aciers inclusionnaires. On trouve par exemple dans un article de K. Kobayashi et al (Soudage et Techniques Connexes, mars-avril 1978) : "A l'origine de l'arrachement lamellaire se trouvent habituellement des inclusions non métalliques qui sous l'effet de contraintes externes et internes deviennent des sites d'amorçage de fissures".

Désormais les métallurgistes EDF disposent d'un bel exemple d'arrachement lamellaire intervenu en service.

2-2ème "postulat" : sur les indications ultra-sonores et la décohésion des inclusions.

Tout se passe comme si, pour les métallurgistes d'EDF, la décohésion des inclusions, ou inclusions "déconsolidées" était un phénomène non décelable par ultra-sons. Ces termes désignent des inclusions qui, d'un point de vue cristallographique ne sont pas cohérentes avec le réseau cristallin de l'acier; il existe alors des interfaces, (surfaces de séparation) entre l'inclusion et la matrice.

Or, les techniques de contrôle par ultra-sons reposent précisément sur la propriété de réflexion des ultra-sons par les interfaces. L'amplitude des signaux dépend bien sûr de la nature de l'inclusion (sa réflectivité), de ses dimensions mais aussi de la technique et de l'appareillage utilisés, du gain choisi etc...

Il nous paraît donc curieux de lire (lettre de M. Lavérie 13/12/1991, Annexe 2) que pour la grosse fissuration trouvée sur le piquage 20 pouces déposé en 1991 : "l'exploitant invoque un mécanisme en deux stades : décohésion des inclusions au moment de la fabrication du piquage (non détectable par les contrôles non destructifs - souligné par nous) puis ouverture des défauts".

Pourtant lors des contrôles effectués en 1986 des indications ultra-sonores ont été relevées, mais les défauts ne faisaient alors que quelques millimètres. En quoi consistaient donc ces défauts ? Nous savons désormais qu'il y avait des inclusions de sulfures à cet endroit (avec ou sans arrachement lamellaire).

Considérons maintenant les renseignements fournis au sujet de l'expertise du piquage 20" déposé lors de l'arrêt de tranche de 1986 sur la ligne de vapeur 3 suite à l'indication ultra-sonore notable relevée en 1985.

L'examen métallurgique révèle des "alignements d'inclusions grossières déconsolidées, constituées de plaquettes rectangulaires de 5,5 mm maximum dans le sens longitudinal du piquage et 3 mm dans la section droite. Il s'agit d'inclusions d'alumine exemptes de tout arrachement lamellaire". Il était fait également état d'une réparation importante dans la soudure, avec présence de "collages".

On peut s'étonner de ce que les experts s'orientent vers un artefact de contrôle, un écho de géométrie qui serait à l'origine des observations aux ultra-sons et de ce que leur cause exacte n'a pour l'instant pu être totalement élucidée. Tout se passe comme si seuls les arrachements lamellaires étaient susceptibles de donner des signaux ultra-sonores et pas les inclusions déconsolidées, pas les collages de la soudure avec sa reprise envers et son importante réparation. Le résumé fourni ne nous indique d'ailleurs pas à quel moment la réparation a été faite dans la soudure. Est-ce lors de la mise en place avant 1976 ? Quelle a été la cause de cette réparation ? Quelle est sa position exacte et son extension ?

L'affaire a été jugée sans importance : il n'y avait que des inclusions déconsolidées, et classée...En somme on aurait déposé à tort ce piquage

en 1986 puisqu'il n'y avait pas d'arrachement lamellaire ? (Bien sûr ce n'est jamais bon pour une soudure d'avoir une réparation...)

3-En somme ,3ème "postulat" : les inclusions "déconsolidées" seraient sans influence sur la tenue mécanique, ne pouvant pas servir d'amorce à des arrachements lamellaires ultérieurs ?

En tout état de cause ce "postulat" permettait de rassurer l'exploitant et les Autorités de Sûreté sur la qualité métallurgique de ces piquages. La découverte en 1991 sur un piquage analogue d'une succession de zones d'arrachement lamellaires provenant de la décohésion d'inclusions illustre le rôle majeur des inclusions dans le processus d'arrachement lamellaire comme l'ont souligné de nombreux chercheurs (voir Kobayashi cité précédemment).

### III) Remarques à propos de l'origine des arrachements lamellaires sur le piquage expertisé depuis sept.1991

(et qui auraient pu entraîner éventuellement la rupture du piquage)

Les dimensions du défaut ont été confirmées par l'expertise : 11 cm sur 3 dans l'épaisseur.

Les conclusions actuelles de l'expertise indiquent qu'il ne s'agit pas d'un défaut qui résulterait d'un phénomène de fatigue, mais qu'il aurait été créé par une sollicitation unique, un évènement isolé générateur de contraintes.

Y a-t-il dans la littérature des exemples analogues d'arrachements lamellaires apparus après une sollicitation isolée ?

Si le défaut s'est effectivement ouvert lors d'une manoeuvre alors que le cas n'était pas prévu lors de la conception, le résultat ne serait pas tellement rassurant du point de vue de la sûreté car, vu l'entourage du piquage il s'agirait vraisemblablement d'une manoeuvre sur une pièce proche du piquage, butées et autres dispositifs antifouettement dont il semble qu'elles soient là précisément pour protéger le piquage de l'éventualité d'une "ouverture guillotine".

Il serait important de s'assurer qu'il n'y a aucun doute quant à la sollicitation responsable de l'apparition d'un défaut aussi étendu et qu'il ne s'agit pas en fin de compte d'un phénomène de fatigue (sur lequel se serait superposé un autre phénomène.) En fait l'histoire de cet incident n'a pas pu être reconstituée de façon satisfaisante. En particulier l'existence de deux faciès, dont une partie fragile, n'est pas expliquée. Comment se situent les dimensions de la fissure observée par rapport à la longueur critique de fissure (vis à vis de la ténacité) pour l'acier en question compte tenu de son état inclusionnaire ?

EN CONCLUSION

Aucun des deux incidents ayant affecté les piquages des lignes de vapeur n'est expliqué de façon satisfaisante par l'exploitant :

- l'origine du défaut trouvé en 1991 n'a pas été élucidée
- il subsiste aussi des inconnues quant à l'origine des signaux observés par ultra-sons en 1985 dont l'interprétation proposée n'est pas satisfaisante.

Il est indispensable qu'EDF améliore la qualité métallurgique des matériaux utilisés ainsi que la qualité des contrôles lors de la fabrication et en inspection sur site.

Ces incidents sur les piquages montrent l'inadéquation du "postulat" EDF selon lequel l'arrachement lamellaire évolue peu après soudage. ils montrent aussi que le rôle des inclusions a été sous-estimé, voire négligé. Une prise en compte plus réaliste de leur influence dès la première expertise de 1986 aurait peut être conduit dès cette époque à un rythme de contrôle plus fréquent.

Il serait important de connaître les autres "postulats" admis par les métallurgistes d'EDF. On peut en deviner quelques uns : la décision de remplacer l'acier inox par de l'Inconel 600 dans les piquages des pressuriseurs n'a-t-elle pas été prise à la suite d'un postulat du genre :

"tenue de l'Inconel 600 > tenue de l'acier inox" ?

ou encore "l'Inconel 600 tient bien en température et sous pression", alors que depuis 1959 on sait que l'Inconel 600 fissure dans l'eau même pure dès lors qu'il y a contrainte même résiduelle à une température de 300°C. Faut-il s'étonner qu'il y ait des fissures dans les manchons de traversée des couvercles de cuve ?

Il y en a certainement d'autres...