DÉTECTION DE FISSURES DANS LES ASSEMBLAGES SOUDÉS

CONTEXTE

1.1 Généralités

La présente procédure traite du diagnostic d'assemblages soudés d'une structure métallique (en acier ou en aluminium) en cours d'exploitation.

En génie civil, les ouvrages métalliques soudés présentent une grande variété. Outre les ponts, représentants majeurs de cette famille, sont concernés les équipements et organes de barrages, les portes d'écluses, les équipements de la route (portiques, potences, hauts- mâts, etc.), les bouées maritimes, les ascenseurs à bateaux, les mâts, les écrans acoustiques, etc. Si l'acier au carbone se prête à tout type d'usage, l'utilisation de l'acier inoxydable et de l'aluminium est plus confidentielle et se restreint à des structures de moindre importance (passerelles, portiques de signalisation, mâts, etc.).

Les premiers ouvrages métalliques de génie civil sont apparus au 18e siècle. Les pièces constitutives, de dimensions modestes (quelques mètres), étaient alors essentiellement assemblées par rivetage. Occasionnellement, le boulonnage s'y substituait.

Dans les années 1950, les progrès techniques, à la fois sur la qualité chimique des matériaux (réduction de la part d'impuretés dans les aciers) et les méthodes de production, ont permis les premiers assemblages soudés. Ce nouveau mode d'assemblage, qui offre bien plus de liberté de conception et d'exécution, s'est imposé progressivement, et constitue aujourd'hui le mode d'assemblage prédominant sur la quasi-totalité des chantiers français [1].

Le détail des types d'assemblage des structures métalliques et de leurs évolutions est donné en contexte de la fiche E3.3.

Au cours de leur exploitation, ces structures métalliques peuvent subir divers endommagements [2]. La fissuration des assemblages soudés représente un risque majeur pour ces structures.

Cette fissuration présente plusieurs caractéristiques qui la rendent bien plus grave que d'autres pathologies :

– à partir d'une pièce secondaire, elle peut se propager à des pièces maîtresses ;
– sa vitesse de propagation s'accélère au fil du temps : plus la fissure est longue, plus elle grandit vite ;
– une fissure initiale de quelques millimètres dans un assemblage critique peut causer à terme la ruine partielle voire totale des ouvrages atteints.

La fissuration d'une pièce métallique n'est jamais bénigne et doit systématiquement faire l'objet d'un diagnostic précis, s'inscrivant dans un diagnostic plus global de l'ouvrage (cf. fiche E-3-2 par ex.).

Les fissures susceptibles d'apparaître lors de la fabrication de la structure ou de sa réparation sont normalement détectées et réparées lors de ces phases de travaux.

1.2 Phénomènes générant la fissuration d'ouvrages en service

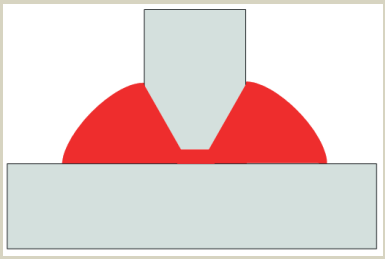
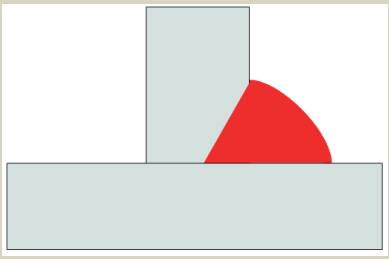
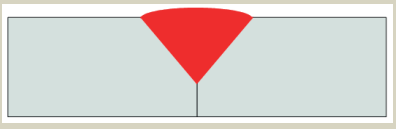
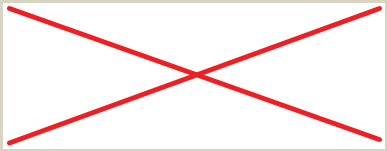
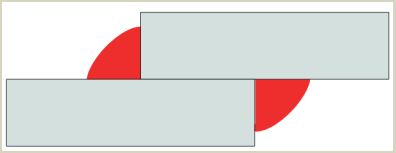
Lors de la fabrication des ouvrages, les assemblages soudés font l'objet d'un contrôle visuel à 100% ainsi que d'autres contrôles non destructifs tels que le ressuage et la magnétoscopie pour détecter les défauts de surface et les ultra-sons pour détecter les défauts internes. Au début de sa vie, l'ouvrage est théoriquement dépourvu de défauts détectables de type fissure avec les moyens de contrôle usuels.

Plusieurs phénomènes peuvent entraîner l'apparition de fissures :

– **La fatigue** qui sollicite la structure par cycles de contraintes. Ces sollicitations sont dues par exemple au trafic (pont), au vent (potences de signalisation) ou à la mise en mouvement de l'ouvrage (boggies) (voir fiche E-3-2).
– **Les excès de contraintes** qui peuvent provenir par exemple d'erreurs d'usagers (camion en surcharge, etc.), d'une mauvaise maîtrise d'opérations de maintenance (vérinage inapproprié, etc), d'un défaut de fabrication (gorge insuffisante, etc) ou d'une mauvaise conception (cas de charge non pris en compte, sous-dimensionnement, etc), de chocs (sollicitations accidentelles violentes et rapides, issues de la circulation sur, sous ou à proximité de l'ouvrage : poids lourds, péniches, charges ou véhicules hors gabarit, etc), d'un incendie, etc.

1.3 Mode d'assemblages, typologie des fissures

L'apparition et le type de fissures dépendent de la configuration géométrique des assemblages et du type de soudure. Les principaux assemblages soudés utilisés pour les ouvrages de génie civil sont les suivants :

	Pleine pénétration	Pénétration partielle
Soudures d'angle Ces soudures permettent d'assembler 2 éléments perpendiculaires l'un à l'autre.		
Soudures bout à bout Ces soudures permettent d'assembler 2 éléments dans la continuité l'un de l'autre.		
Soudures à clins Ces soudures permettent d'assembler 2 pièces posées l'une sur l'autre en décalé.		

Ces soudures peuvent être :

– à pleine pénétration :

La continuité métallurgique des pièces est pleinement assurée : la totalité de la section entre deux éléments est reconstituée.
Les soudures à pleine pénétration sont fréquemment utilisées dans les assemblages d'aboutage d'éléments.

– à pénétration partielle :

Il n'y a pas de continuité métallurgique totale entre les éléments. Les soudures à pénétration partielle sont utilisées pour la majorité des soudures d'angle.

Les soudures comportent plusieurs zones (Figure 1) [3] :

– la zone fondue correspond au métal fondu lors de l'opération de soudage ; il s'agit le plus souvent d'un métal d'apport ;
– le métal de base est le métal initialement présent, avant soudage ;
– la zone de liaison se situe à la limite entre la zone fondue et le métal de base ;
– la ZAT (Zone Affectée Thermiquement) est la zone de métal de base ayant subi des modifications métallurgiques lors de l'opération de soudage ;
– le pied de cordon correspond à la limite entre la surface de la soudure et le métal de base ;
– la racine du cordon correspond à la zone située du côté opposé à celui d'où le soudage est effectué.

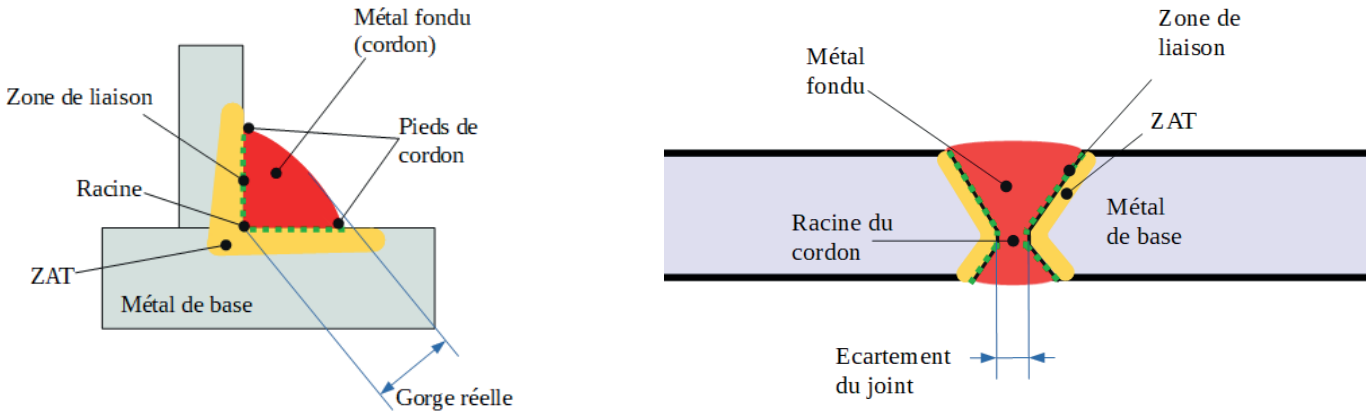


Figure 1 : Visualisation des différentes zones des soudures.

La zone dans laquelle apparaît la fissure est révélatrice de l'origine du défaut (Figure 2). Les fissures de fatigue s'initient généralement en pied de cordon ou à la racine de soudures à pénétration partielle.

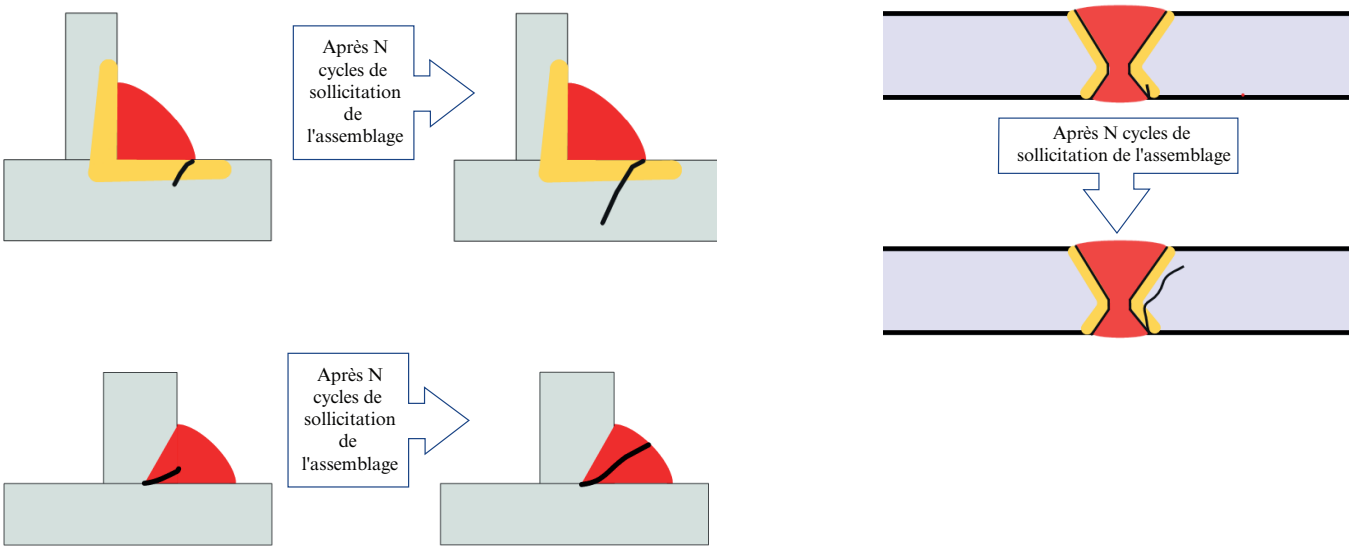
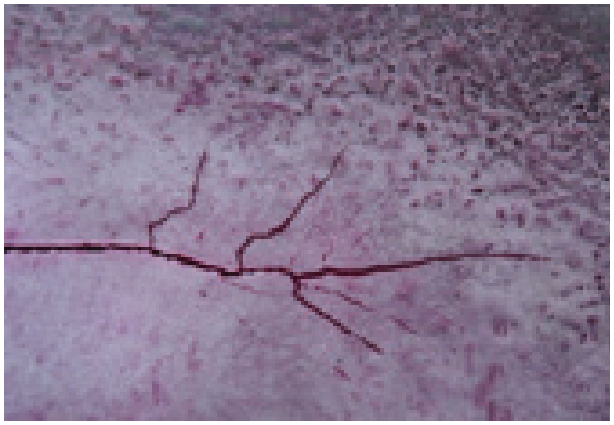


Figure 2 : Localisations possibles des fissures dans les assemblages soudés.

La fissure peut également être unique et se présenter sous forme d'une ligne, ou ramifiée, telles les branches d'un arbre (Figure 3).



Fissure unique (ligne)



Fissure ramifiée

Figure 3 : Morphologie des fissures (Cerema).

1.4 Identification des zones sensibles à la fatigue

Les zones les plus sensibles à la fatigue sont :

– les zones où il y a une brusque variation de la géométrie de l'assemblage et/ou du champ de contraintes ;
– les zones soumises à de nombreux cycles de sollicitation et où la variation de contraintes est importante ;
– les assemblages soudés lorsque les dispositions constructives sont inadaptées, le détail d'assemblage le plus sensible étant le cordon frontal perpendiculaire à la direction des efforts, ou lorsque les cordons de soudure sont mal réalisés ; la fissuration s'amorce généralement dans la zone de transition entre le cordon de soudure et le métal de base (pied ou racine de cordon). Ces zones de soudure sont des points critiques dus à leur sensibilité aux concentrations de contraintes et aux contraintes résiduelles.

Pour les ponts routiers, les principaux cas de désordres concernent les augets des dalles orthotropes (fissure à la liaison auget / tôle de platelage et fissure à la liaison auget / pièce de pont). Des fissures peuvent aussi être observées à l'extrémité de raidisseurs longitudinaux, aux soudures d'assemblage entre semelles principales et raidisseurs transversaux, au niveau de la soudure de contournement des assemblages âme / semelle des poutres principales au droit des lunules, au droit d'importantes pertes de section (cratères de corrosion), au bout des semelles additionnelles soudées, au droit de pièces fortement déformées.

Les méthodes d'auscultation seront adaptées à la typologie recherchée des défauts [4].

MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC

ÉTAPE 1 ANALYSE DU DOSSIER DE L'OUVRAGE	Il convient tout d'abord de vérifier qu'au stade de la demande de diagnostic, les informations suivantes sont disponibles : – les références de l'ouvrage (type, emplacement, voies portées et franchies, etc.) ; – l'objet général du diagnostic (analyse en fatigue, expertise suite à choc etc.). – le type de défaut recherché ; – la définition des assemblages soudés susceptibles de présenter des fissures. Les éléments suivants seront ensuite recherchés dans le dossier d'ouvrage : – les plans de récolement de la structure métallique ; – le cahier de soudage ; – le cahier de préparation des joints ; – la nature et nuance des matériaux ; – les documents relatifs à la protection anticorrosion existante sur l'ouvrage (le cas échéant) ; – les travaux et maintenance passés, en particulier les fiches de non-conformité de chantier ; – les notes de calcul et particulièrement les justifications vis-à-vis de la fatigue (catégories de détails, classes de trafic, niveaux de sollicitations, etc.).
ÉTAPE 2 INSPECTION DÉTAILLÉE	L'analyse préalable du dossier d'ouvrage, voire du contexte du diagnostic (choc, etc.), aura permis d'identifier les zones les plus critiques vis-à-vis de l'apparition de possibles fissures (voir paragraphe 1.4), zones qui feront l'objet d'un examen visuel attentif lors de l'inspection détaillée générale. Cette inspection détaillée générale de la structure se fait sans enlèvement de la protection anticorrosion et permet de détecter : – les fissures visibles à travers cette protection ; – le désalignement ou l'écart géométrique entre 2 éléments ; – la présence d'oxydes issus de la zone fissurée (rouille, etc.). Si besoin, on profitera des moyens d'accès déployés pour l'inspection détaillée afin de réaliser un ou des prélèvements de la protection anticorrosion en vue d'une recherche d'éventuelles substances dangereuses. Ces prélèvements doivent être effectués par du personnel qualifié selon une procédure adaptée.
ÉTAPE 3 AUSCULTATION	L'auscultation vise à : – confirmer ou infirmer la présence de fissures à l'aide de techniques de détection appropriées ; – quantifier et qualifier précisément les indications (fissures, etc.). Ces éléments permettront par la suite, dans le cadre du diagnostic global de l'ouvrage, d'engager un suivi, de produire un dossier de renforcement ou de réparation, voire de prévoir le remplacement de l'ouvrage. Avant de pouvoir ausculter la structure, il convient de dresser la liste des assemblages à ausculter et de procéder, en fonction des méthodes d'auscultation, à un retrait partiel de la protection anticorrosion. **3.1 Liste des assemblages à ausculter** À l'issue de l'inspection détaillée, la liste des assemblages soudés à ausculter sera définie conjointement entre le bureau d'études en charge du diagnostic général et le laboratoire en charge du diagnostic « fissure », en prenant notamment en compte les critères suivants : – risque de présence de fissures ; – dangerosité vis-à-vis de la pérennité de l'ouvrage ; – représentativité des types d'assemblage ; – accessibilité ; – compatibilité avec des prestations ultérieures éventuelles (instrumentation, renforcement, etc.). **3.2 Retrait de la protection anticorrosion** Dans le cadre d'un diagnostic par contrôles non destructifs d'assemblages soudés, le retrait de la protection anticorrosion apporte un gain tant sur la faisabilité que sur la précision des résultats [5]. Cette phase est toujours grandement souhaitable. En effet, de nombreuses méthodes ne sont pas pertinentes sans retrait de la protection anticorrosion. Il est nécessaire de connaître la nature et l'épaisseur du revêtement avant de procéder à son retrait.

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

Une analyse du revêtement, exécutée conformément à la fiche A4-1 « Prélèvement et analyse de revêtement anticorrosion », sera systématiquement réalisée préalablement au retrait.

En outre, on veillera à ce que cette phase ne vienne pas masquer partiellement ou totalement des défauts existants par matage ou comblement. Les méthodes évitant des déformations du métal ou l'insertion d'éléments dans les défauts éventuels seront privilégiées (éviter de racler ou brosser).

Dans le cas où l'analyse conclut à la présence de plomb, d'amiante ou d'autres éléments nuisibles à la santé, le retrait du revêtement dans sa totalité sera privilégié, au préalable à toutes actions d'auscultation. Il sera réalisé dans des conditions permettant de garantir la sécurité des opérateurs et du public (décapage chimique ou par induction par exemple), et dans le respect de la réglementation (déchets dangereux, environnement).

Dans le cas d'un acier autopatinable, la patine occasionne une gêne similaire à celle générée par la protection anticorrosion. La patine sera donc retirée préalablement et juste avant l'auscultation.

Afin de préserver au maximum l'ouvrage, le retrait de la protection anticorrosion ou de la patine sera aussi limité que possible (sauf présence de produits toxiques). La zone à dégager dépendra de la ou des méthode(s) d'auscultation retenue(s).

3.3 Examen visuel des assemblages soudés [6]

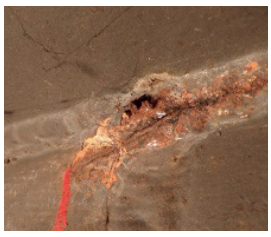
Seront recherchés les désordres susceptibles d'indiquer une fissuration des assemblages soudés de la structure comme :

– l'absence de continuité métallurgique au sein d'un assemblage (présence d'une ouverture) ;
– le désalignement ou l'écart géométrique entre 2 éléments ;
– la présence d'oxydes issus de la zone fissurée non traitée en anticorrosion (rouille, etc.) ;
– la fissuration de la protection anticorrosion.

Dans le cas d'un ouvrage en acier autopatinable, la fissuration sera plus difficile à détecter en raison de la non pertinence des 2 derniers critères.



Absence de continuité métallurgique : fissure directement observable



Oxydes



Fissuration de la protection anticorrosion

Figure 3 : Exemples de désordres observables sur des soudures.

Le contrôle visuel sera réalisé conformément à la fiche B3-1. Les défauts seront qualifiés selon les normes en vigueur [7]. Le contrôle des caractéristiques dimensionnelles exactes des assemblages soudés sera réalisé à l'aide du matériel décrit dans la fiche B3-1 (mètre, décamètre, jauge de mesure de cordon, jauge de mesure de caniveau, pied à coulisse, etc.).

3.4 Techniques d'auscultation possibles

Les méthodes de contrôles non destructifs les plus courantes utilisées pour détecter les fissures sont les suivantes :

Fissures en surface :

– le ressuage (PT) (ficheB3-3) [8] détecte les défauts débouchant en surface, quelle que soit leur forme.
La pièce doit être dépourvue de revêtement. Si le défaut risque d'être comblé, la méthode ne sera pas utilisée.

– la magnétoscopie (MT) (fiche B3-4) [9] est adaptée à la détection de défauts débouchants ou sous-jacents (1 à 2 mm sous la surface).
La méthode est bien adaptée aux indications linéaires, de type fissure. Elle se limite aux matériaux ferro-magnétiques (acier au carbone par ex.). Les aluminiums et de nombreux aciers inoxydables ne sont pas compatibles avec la méthode.

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

Elle n'est utilisable que si l'épaisseur du revêtement est inférieure à 50 µm et que le revêtement est non conducteur (cf. norme NF EN 17638). Dans le cas contraire, le revêtement doit être ôté, mais le comblement éventuel d'un défaut n'aura pas d'impact sur la qualité du contrôle.

– les **courants de Foucault** (fiche B3-8) (ET) [10] sont une méthode adaptée à la recherche de défauts débouchants ou sous-jacents.
  Elle ne nécessite pas le décapage du revêtement (épaisseur < 2mm), mais ne permet pas une visualisation directe, sur la pièce, de l'indication.

– l'**ACFM** (Alternative Current Field Measurement) (fiche B3-10) [11] est une méthode spécifiquement adaptée à la recherche de défauts de type fissure de fatigue.
  Elle se limite aux matériaux ferro-magnétiques (acier au carbone par ex.), s'utilise à travers des revêtements non conducteurs, jusqu'à 5mm d'épaisseur, mais ne permet pas une visualisation directe, sur la pièce, de l'indication. En outre, elle n'est pas certifiée par la Cofrend et ne sera donc pas utilisée en première intention.

Fissures internes, dans la matière :

– les contrôles par ultrasons :
  – les **ultrasons conventionnels** (UT) (fiche B3-6) [12] sont une méthode longuement éprouvée. Les défauts doivent se situer à une distance de plus de 5 mm des surfaces. La méthode est très sensible à l'orientation du défaut recherché. La pièce doit être dépourvue de revêtement.
  – les **ultrasons multiéléments** (phased array : PAUT) (fiche B3-11) sont une méthode similaire aux ultrasons conventionnels (mêmes contraintes), mais permettant une visualisation « en coupe » du métal. Elle n'est toutefois pas certifiée par la Cofrend et ne sera donc pas utilisée en première intention, sauf dans le cadre d'une campagne globale de dépistage (augmentation du rendement).
  – le **TOFD** (Time Of Flight Diffraction) (fiche B3-12) [13] est une méthode basée sur les ultrasons. Elle en présente globalement les mêmes contraintes, mais n'est toutefois pas sensible à l'orientation du défaut. Elle est très adaptée à la recherche de défauts internes de type fissure.

– la radiographie (RT) (fiche B3-5) [14] est une méthode de détection de défauts internes au métal rarement utilisée en génie civil pour les assemblages soudés (elle l'est davantage pour les assemblages rivetés en fer puddlé). La méthode est très sensible à l'orientation du défaut recherché. Elle ne permet pas de déterminer la profondeur de l'indication. Les fortes contraintes sécuritaires et réglementaires liées à l'utilisation d'une source radioactive ont restreint son usage en génie civil. Les ultrasons permettent, dans de nombreux cas, de procéder à un contrôle équivalent. La méthode n'est à envisager que pour des cas très particuliers (cas où les autres méthodes ne sont pas applicables).

Les possibilités d'usage de ces méthodes dépendent du type de soudure [4] comme le montre le tableau suivant :

Soudure	PT	MT	ET	ACFM	UT	PAUT	TOFD	RT
Pleine pénétration								
Pénétration partielle								

possible dans presque tous les assemblages
possible dans certains assemblages
impossible

Pour chaque méthode, la faisabilité sera vérifiée par un personnel certifié Cofrend niveau 2 minimum ou équivalent [15] ou, à défaut d'existence d'une certification Cofrend, par un personnel disposant de compétences similaires.

Ces méthodes respecteront les préconisations du fascicule 66 du CCTG [16] et les normes associées [17, 18].

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

3.5 Mise en œuvre de l'auscultation

L'auscultation des zones sera réalisée par méthode CND adaptée (cf. 3.2).

Les techniques suivantes seront privilégiées :

– fissures en surface : magnétoscopie ;
– fissures internes : ultrasons conventionnels.

Elles nécessitent le plus souvent le retrait de la protection anticorrosion.

Lors de l'auscultation, si les défauts doivent faire l'objet d'un suivi, la limite de chaque extrémité de fissure fera l'objet d'un marquage indélébile sur l'ouvrage.

3.5.1 Magnétoscopie : conditions opératoires (voir fiche B3-4)

Les préconisations suivantes permettront de faciliter l'auscultation par magnétoscopie et d'en améliorer l'efficacité :

– l'utilisation des électro-aimants portatifs (alimentés par un générateur ou autonome sur batterie) est la règle normative pour le contrôle par magnétoscopie. L'utilisation d'aimants permanents, comme le modèle à câbles, facile à positionner et à manipuler, peut toutefois être acceptée, après accord des parties, pour certains assemblages difficiles d'accès.
  À noter qu'il est difficile de changer de méthode et de matériel entre 2 auscultations, au risque de ne pas pouvoir corréler les observations et les mesures réalisées.

– l'utilisation de la magnétoscopie colorée ; la magnétoscopie fluorescente est plus sensible mais son usage est plus restreint (nécessité d'une obscurité suffisante : inspection de nuit ; zone confinée à l'abri de la lumière naturelle, etc.) et elle génère plus de fausses indications liées aux imperfections de surface.

La présence d'un revêtement d'épaisseur supérieur ou égale à 50µm et / ou un revêtement conducteur ne permettra pas l'usage de cette méthode.

3.5.2 Méthodes par ultrasons : conditions opératoires et choix de méthode (voir fiche B3-6)

Les méthodes de contrôle par ultrasons permettent de contrôler la totalité des soudures à pleine pénétration, mais les conditions opératoires peuvent en empêcher le bon usage :

– les faces des métaux de base entourant la soudure doivent être accessibles sur une certaine largeur, de l'ordre de 3 à 6 fois l'épaisseur du métal, de chaque côté de la soudure ;
– l'application normative des méthodes exige le retrait de la protection anticorrosion ; si cette protection est conservée, elle génère une perturbation du signal ;
– une rugosité excessive créera une gêne similaire.

Si ces conditions ne sont pas remplies, des adaptations sont envisageables et doivent être définies par un personnel certifié Cofrend 3 ou équivalent dans la méthode. Si les adaptations ne sont pas possibles, ces méthodes ne sont pas appropriées, ou donneront des résultats partiels.

Les méthodes ultrasons multi-éléments et TOFD sont d'application plus rapide sur le terrain, et sont donc intéressantes si un grand nombre d'assemblages sont à contrôler. Elles permettent également, dans certains cas, un enregistrement du contrôle. Cette option peut être intéressante dans le cadre d'un suivi.

3.5.3 Radiographie : conditions opératoires (voir fiche B3-5)

Le contrôle par radiographie nécessite différentes conditions opératoires, rarement remplies pour une structure en service :

– accès aux 2 faces de la soudure ;
– positionnement du film sur une face ;
– rendement de la méthode ;
– placement précis, stable et en toute sécurité de la source ;
– évacuation du personnel et du public dans toute la zone d'opération (zone définie par les calculs de radio protection).

Si ces conditions ne sont pas remplies, des adaptations sont envisageables et doivent être définies par un personnel certifié Cofrend 3 ou équivalent dans la méthode. Si les adaptations ne sont pas possibles, la méthode n'est pas appropriée.

ÉTAPE 3 AUSCULTATION	**3.6 Rapport final** À l'issue de l'auscultation, le rapport comportera : – le contexte général (ouvrage, objet du diagnostic, personnel mobilisé, dates d'intervention, etc.) ; – les méthodes employées et leurs limites d'emploi ; – la liste des assemblages auscultés ; – la liste des assemblages n'ayant pu être auscultés ; – le relevé exhaustif des fissures ; – pour chaque fissure, sa position précise dans la structure, sa longueur, son ouverture maximale, une ou plusieurs photographies, sa position par rapport aux différentes zones de la soudure le cas échéant ; – le relevé des désalignements, écarts géométriques ou déformations ; – les évolutions depuis la précédente inspection, s'il s'agit d'un suivi ; – les procès-verbaux des contrôles non-destructifs ; – les difficultés d'exécution rencontrées, le cas échéant ; – une cartographie des défauts. Ces éléments alimentent le diagnostic général. Ils sont essentiels à l'analyse et au suivi de la vitesse d'évolution de la pathologie.

RÉFÉRENTIEL

[1] Travaux de construction en acier – Guide du Maître d'œuvre – SETRA 2001.

[2] ITSEOA fascicule 33 : Ponts métalliques et mixtes.

[3] FD ISO/TR 25901-1 : Soudage et techniques connexes - Vocabulaire - Partie 1 : termes généraux.

[4] NF EN ISO 17635 : Contrôles non destructifs des assemblages soudés – Règles générales pour les matériaux métalliques.

[5] Guide STRESS FAME 1 : Réparation et rénovation des structures métalliques.

[6] NF EN ISO 17637 : Contrôles non destructifs des assemblages soudés – Contrôle visuel des assemblages soudés par fusion.

[7] NF EN ISO 6520-1 : Soudages et techniques connexes – Classification des défauts géométriques dans les soudures des matériaux métalliques – Partie 1 : soudage par fusion.

[8] NF EN ISO 3452 : Essais non destructifs – Examen par ressuage.

[9] NF EN ISO 17638 : Contrôle non destructif des assemblages soudés – Magnétoscopie.

[10] NF EN ISO 17643 : Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par courants de Foucault des assemblages soudés avec analyse des signaux dans le plan complexe.

[11] ACFM : http://www.mesures.com/pdf/old/799_CND_ACFM.pdf

[12] NF EN ISO 17640 : Essais non destructifs des assemblages soudés – Contrôle par ultrasons – Techniques, niveaux d'essais et évaluation.

[13] NF EN ISO 10863 : Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par ultrasons – Utilisation de la technique de diffraction des temps de vol (méthode TOFD).

[14] NF EN ISO 17636 : Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par radiographie.

[15] NF EN ISO 9712 : Essais non destructifs – Qualification et certification du personnel END.

[16] CCTG fascicule 66 – Version mai 2012 – Exécution des ouvrages de génie civil à ossature en acier.

[17] NF EN 1090-2 – Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : exigences techniques pour les structures en acier.

[18] NF EN 1090-3 – Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : exigences techniques pour les structures en aluminium.

Liste des méthodes d'auscultation

A4-1 : Prélèvement et analyse de revêtement anticorrosion (à paraître)

B3-1 : Contrôle visuel et dimensionnel des soudures

B3-3 : Examen par ressuage

B3-4 : Contrôle par magnétoscopie

B3-5 : Contrôle par radiographie des soudures

B3-6 : Contrôle de compacité des tôles et des soudures par ultrasons

B3-8 : Contrôle par courants de Foucault (à paraître)

B3-10 : contrôle par méthode ACFM (à paraître)

B3-11 : Contrôle de soudures par ultrasons multi-éléments (phased array) (à paraître)

B3-12 : Contrôle de soudures par méthode TOFD (à paraître)

E-3-2 : Evaluation de la durée de vie en fatigue d'une structure métallique

E-3-3 : Analyse du fonctionnement des assemblages d'une structure métallique

LOGIGRAMME

Un logigramme ou un schéma décisionnel, visualisant de façon séquentielle et logique les actions à mener et les décisions à prendre pour aboutir au diagnostic résume la méthodologie de diagnostic.

D2-1 : DÉTECTION DE FISSURES DANS LES ASSEMBLAGES SOUDÉS

