

## **PREPARATION DES BORDS**

### **1) Moyens de réalisation des prépa:**

#### Coupage mécanique:

- Par décohésion / arrachement de matière

Cisaillage --> bords droits et bords chanfreinés plan.

Grignotage --> bords chanfreinés plan. Limité ép 10 mm.

Sciage, coupage à l'outil, poinçonnage.

Rabotage (chanfreineuse, chanfreins plan ou de forme).

- Par érosion, abrasion: meulage, coupage jet d'eau , tronçonnage.

Oxycoupage: chanfreins plan.

Usinage: chanfreins de forme.

### **2) Eléments à prendre en compte pour définir 1 prépa:**

#### **-Procédé de soudage:**

Paramètres opératoires:

Talon s proportionnel au procédé et dia électrode (entre 1 et 7 mm).

Ecart entre pièces g entre 0 et 4 mm, s'entend après pointage.

Paramètres liés au procédé de soudage (dimension de la buse):

Angle de fuite  $\alpha$  entre 50 et 60° pour chanfreins plans, entre 20 et 30° pour tulipes. Il n'y a pas intérêt à augmenter  $\alpha$  car le volume de métal à déposer augmente considérablement. De plus les déformations (pliage) augmentent avec  $\alpha$ . SAFP --> chanfrein étroit.

Rayon fond de tulipe r : entre 4 et 10 mm.

**-Type de joint:** tranche sur tranche, peau sur peau, tranche sur peau.

**-Nb de passes :** influence  $\alpha$  --> pour permettre la bonne exécution des passes.

**-Position de soudage:** influence  $\alpha$  (quand  $\alpha$  diminue, les problèmes opératoires commencent). En soudage Alu angles importants pour dégazer.

**-Accès endroit/envers:** détermine le type de chanfrein. On peut panacher les prépa.

**-Ep à souder:** influence le type de chanfrein.

**-Matériau:** influence le choix du procédé (et donc surtout g et s).

**-Possibilité de prévenir les déformations:** à chaque fois que c'est possible privilégier les prépa en X, en K ou en U (limitent la valeur du retrait transversal, annule l'effet de pliage et économise temps et matière à déposer); alterner les passes endroit/envers. X 2 fois - de dépôt qu'1 V de même angle au sommet. Jouer sur les prédéformations.

**-Assemblage manoeuvrable ?**

**-Coût (moyens de réalisation):** diminution de vol de métal à rapporter = économie de matière et exécution + rapide. Coeff de 1,2 dans le calcul de métal à déposer pour intégrer le meulage entre passes.

**-Ecoulement thermique:** 2 ou 3 voies de dispersion (devrait être équilibré). Risque de collage, zone très chaude si répartition non équilibrée.

### 3) Exemples de préparations pour procédés à l'arc 1XX

#### Soudures bout à bout BW:

##### Bords jointifs

$e \leq 2$  mm pas de jeu

(fonction du pouvoir pénétrant de la source, FE sans jeu jusqu'à 80mm pe).

$e \leq 3$  à 4 mm selon procédé (TIG EE MIGMAG Plasma).



Prépa en Vé avec talon: quand la source de chaleur ne permet pas la pleine pénétration sur toute l'épaisseur en 2 passes. Exemples: TIG passe de fond + EE, 1ère passe MIGMAG.

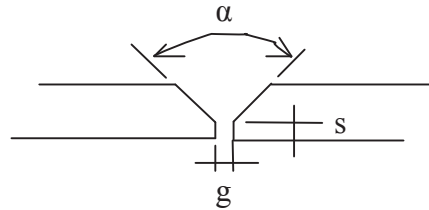
ép 5 à 30 (fluctuant).

Accès d'un seul côté.

$\alpha = 45$  à  $70^\circ$  selon procédé (45 fil fourré).

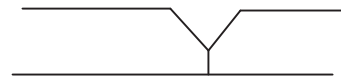
$2 \leq g \leq 4$

$0 \leq s \leq 2$  (0 pour MAG).



Pour soudage en corniche: Vé asym (demi-angle inférieur fermé).

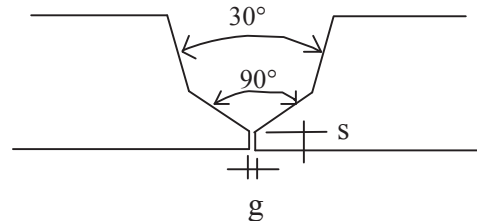
Prépa en Y: plasma jusqu'à 8/10 mm. 1ère passe avec talon épais. SFP en remplissage.



Chanfrein double pente ou tulipe: fortes épaisseurs (30 à 150 mm)

Double pente - sensible à fissuration à froid.

Tulipe permet de gagner en métal déposé.



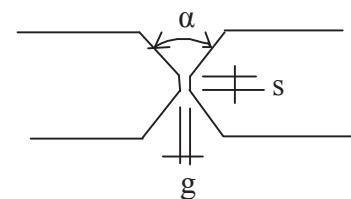
Prépa en X: accès des 2 côtés.

Sym / axe vertical pour ép modérées (< 15 mm).

$\alpha = 45$  à  $60^\circ$

$s \leq 2$  (gougeage envers: + le talon est épais + il faut meuler)

$g$  2 à 4 mm.



X asym: ép 15 à 30 mm --> taux de disym idéal  $2e/5$  et  $3e/5$  qui permet de compenser totalement l'effet de pliage.

Séquence de soudage: côté  $2e/5$  d'abord, retournement et gougeage envers puis exécution côté  $3e/5$ .

X sym ép 30 à 80 mm: exécution partielle 1er côté puis retournement, gougeage envers, exécution envers complète. 2ème retournement et finition 1er côté.

Prépa en X avec insert: pour les pièces très épaisses (60 à 200 mm). Chanfrein réalisé par oxycoupage.

Tous procédés sauf TIG.

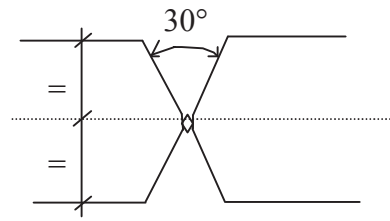
Insert d'1 carré de 12 soudé d'1 côté.

Lors du gougeage envers, cet insert est quasiment supprimé.

On remplit la moitié du 1er côté.

On remplit l'ensemble du 2ème côté.

On termine le 1er côté.



Prépa avec latte support:

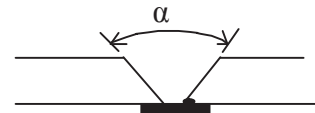
Sans talon.

Latte pointée sur 1 côté dans le chanfrein.

Latte la + mince (3 en TIG, 8 en SAFF) et la + étroite possible (doit être fusionnée à la 1ère passe).

$g \geq 6$  mm (jusqu'à 10 mm).

$\alpha = 30$  à  $45^\circ$ .



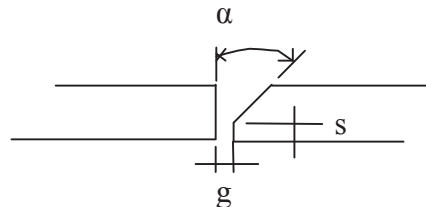
Autres prépa possibles:

Demi-Vé:

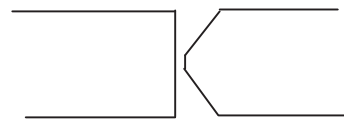
$s > V\acute{e}$  car disym thermique (2 à 3 mm)

$\alpha$  au moins  $45^\circ$  (jusqu'à  $55^\circ$ ).

$g$  3 à 4 mm.

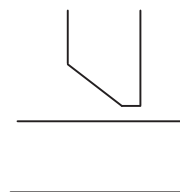


En K:



Soudures en angle Té:

On s'inspire du 1/2 Vé.



Préparations spéciales pour épaisseurs fines: à clin, bords soyés, bords relevés (subsistants ou non).

## DEFAUTS DES SOUDURES

"0" défaut coûte cher.

Origine des défauts: choix du mode opératoire, son respect (paramètres de soudage), procédé de soudage, nature des matériaux à assembler, métal d'apport, milieu environnant (T°, humidité), main d'oeuvre (le soudeur).

Déceler et définir les défauts (méthode adaptée au type de défaut).

Critères d'acceptation (cahier des charges, textes réglementaires, normes).

Critères de classification: situation (dans le plan de joint ou hors du plan de joint, interne, externe), géométrie (plan, volumique, évolutif), moment d'apparition (+ ou - différé, défaut d'exécution, en service), moyen de détection (visuel, CND), mode d'exécution des soudures (procédé), gravité (fatigue, tenue en service).

Normes: NFEN ISO 6520-1 procédés par fusion --> 6 groupes.

NFEN 6520-2 soudage par pression (par résistance pe).

**1 : Fissures**: défauts plan. Causes nombreuses et variées: manque d'en en première passe sur pièce épaisse, mauvaise conception assemblage (retrait transversal libre souhaitable), mauvais choix MA. Fissures longi en ZF axée/cordon "à chaud", en ZL, en ZAT "à froid" ou en MB.

Fissures transversales en ZF, en ZAT ou en MB: retrait longi contrarié.

Fissures rayonnantes: groupe de fissures issues d'1 même point en ZF, ZAT ou MB.

Fissures de cratère: en fin de cordon. Liées au ref rapide du dernier bain de fusion et aux cond de bridage. Proportionnel au vol du bain.+ les cordons sont ronds + il y a de risque.

Différentes formes: longi, transversale, rayonnante.

Procédés sensibles: TIG et SOA. - sensible: SAFP.

Fissures ramifiées: bridage imp, matériau très sensible. Grossissement du grain, introduction de Cu. Attention aux produits moulés.

Réseau de fissures marbrées: groupe de fissures séparées, d'orientation quelconque.

Microfissures: ensemble de fissures reliées entre elles, issue d'1 même fissure, en ZF ZAT ou MB.

Détectées par contrôle destructif, visible qu'au microscope.

**2: Cavités**: défauts volumiques.

Soufflure: cavité formée par du gaz emprisonné (le dégazage n'a pas le temps de se faire).

SAFP: flux mal étuvé ou conditions mauvaises.

Soufflure sphéroïdale: isolée ou uniformément répartie.

Nid de soufflures: groupe de soufflures réparties de manière quelconque. En démarrage du cordon: bain froid, pièce froide.

2 méthodes pour pallier à ce défaut: reprise sur cordon amont (surépaisseur qui peut être meulée), amorçage en côté de chanfrein (meulage ultérieur). Formation du bain dans 1 zone maîtrisée.

Soufflures alignées: réparties selon 1 ligne parallèle à l'axe de la soudure.

Soufflure allongée: soufflure non sphéroïdale, importante dont la direction principale est parallèle à l'axe de la soudure. Interpasse, alignées en racine (1ère passe).

Soufflure vermiculaire: en forme de galerie de ver. Volume de bain important, poche de gaz (H) qui remonte dans le bain, drainée à chaque passe. Peut déboucher en surface (pe en verticale montante EE basique).

Piqûre de surface: soufflure débouchant en surface.

Retassure: cavité due au retrait du métal pendant la solidification. Interdendritique, de cratère, microretassure.

Porosités: inclusions gazeuses dues à 1 mauvais nettoyage des bords, choix MA inapproprié, réglage intensité inadapté.

Pièces sales, mal dégraissées, humides.

**3: Inclusions solides :** corps solide étranger emprisonné dans le métal fondu.

Inclusion d'oxyde: SOA ou prépa pièces négligées (calamine). N'importe où dans le joint. Oxydes de Fe, de Al ...

MAG fil chargé en Si (pour piéger O) --> silicates (plages gris clair) aussi nuisibles que les inclusions de laitier. Acier mal décapé. Détectables en radio et US. + légers, remontent en surf, T° fusion < acier.

"Paire de fesses" sur alliages légers: remontée du film d'oxydes dans la ZF côté envers.

Peau d'oxyde: film d'oxyde métallique, protection inappropriée et turbulence bain de fusion.

Carac en TIG. Auréole de part et d'autre du cordon de teinte + ou - foncée selon d° de gravité. Débit gaz trop important ou insuffisant, dia buse trop petit, mauvaise tenue torche, courant d'air.

Inclusion de laitier ou de flux: mauvais décrassage entre passes, intensité trop faible, chanfrein trop fermé, manque dextérité soudeur. En angle conjugué au manque de péné. Inclusions alignées, isolées ou en nid.

SAEE ou SAFFP.

Inclusion métallique: difficile à déceler sauf si pouvoir d'absorption très différent du MB (TIG alliages pe). Inclusion de Cu dans 1 acier pas détectée en radio. Si continuité de la matière --> pas détectée en US.

Inclusion de tungstène propre au TIG: affûtage trop en pointe, densité de courant trop importante, soudeur touche le bain.

#### **4: Manque de fusion et de péné:**

Manque de fusion ou collage: manque de liaison entre le métal déposé et le métal de base ou entre couches contiguës de métal déposé (apport de métal liquide sur métal non fondu). Pui trop faible ou trop forte, inexpérience du soudeur. Très rare en procédé TIG.

En racine, en peau, au milieu, aux liaisons interpasse (SAFFP en rechargement ou MIG MAG).

Manque de péné (péné incomplète): différence entre la péné réelle et la péné nominale. ZF n'intéresse pas la totalité de l'ép.

Intensités trop faibles, vitesse d'avance trop grande, mauvaise prépa.

Manque de péné à la racine: l'1 des 2 bords de la racine n'est pas fondu.

Défaut en doigts de gant ou spikes: péné extrêmement irrégulière (FE ou laser).

#### **5: Défauts de forme et défauts dimensionnels:**

Forme défectueuse: forme imparfaite des faces externes, forme géométrique imparfaite du joint.

Caniveau: sillon + ou - prononcé, au raccordement de la soudure. En et/ou vitesse d'avance trop importante, mauvaise tenue torche, inexpérience du soudeur. Mauvais pour la tenue en fatigue.

Caniveau entre passes --> rouvrir sinon risque de collage ou d'inclusion.

Caniveau continu.

Morsure: caniveau discontinu.

Caniveau en racine très embêtant, en gal pas récupérable (si on soude en péné complète c'est qu'il n'y a pas accès de l'autre côté).

Surépaisseur excessive: excès de métal fondu en surface soudure BàB.

l excès engendre collage, manque de fusion ou de péné, concentration des contraintes au droit du raccordement. En trop grande et vitesse d'avance trop faible ou dia MA trop important, manque de dextérité du soudeur ou mauvaise prépa des bords.

En vertical EE rutile.

Convexité excessive: excès de métal fondu à la surface d'l soudure d'angle.

Excès de péné: faisant saillie à la racine.

Défaut de raccordement: angle de raccordement de la soudure trop faible.

Débordement: excès de métal fondu débordant sur le métal de base, en passe de fond ou en passe terminale.

Défaut d'alignement: dénivellation des bords (pièces parallèles). Mauvaise prépa des pièces, pointage défectueux (rupture des points au cours du soudage). Engendre manque de péné en racine.

Défaut angulaire: non alignement de 2 pièces, angle entre leur surface. Ou angle non respecté.

Effondrement: affaissement du métal fondu dû à la gravité. En corniche, au plafond, à plat, soudure d'angle, soudure à clin. Mauvaise répartition des passes (il faut estimer le vol de la dernière passe pour lui laisser la place). EE basique (laitier fluide).

Trou: effondrement bain entraînant la perforation de la soudure.

Manque d'épaisseur: manque de métal --> profil en retrait par rapport au profil correct.

En trop importante, prépa inadaptée, mauvaise tenue torche. Possibilité de réparer en refaisant 1 passe (sauf si manque en racine).

Défaut de symétrie excessif de soudure d'angle: soudure disymétrique peut être imposée par la conception (soudure à clin pour sollicitation en fatigue).

Largeur irrégulière: variation excessive de la largeur du cordon, cordon sinueux (manque de rectitude). Défauts du débutant.

Surface irrégulière: vagues de solidification irrégulières. Vitesse d'avance irrégulière, surface ridée et tourmentée.

Retassure à la racine: manque ép à la racine d'1 soudure BâB dû au retrait du métal fondu.

Rochage: mousse métallique poreuse due à 1 oxydation excessive (aciers inox, bases Ni et Cu). Cr très sensible à l'oxygène à haute T°. Débit de gaz trop élevé ou insuffisant côté endroit, mauvaise protection côté envers ou erreur de choix du MA. Inacceptable (0 tolérance) car développement corrosion ultérieur. Remontée d'oxydes de Cr dans le cordon.

Il existe des produits à dérocher (décapant/passivant). Traitent le pb en surf mais pas en profondeur. Rochage en profondeur pas détectable après coup.

Mauvaise reprise: surép côté endroit, manque péné côté envers. Reprise à 10 ou 15 mm en arrière du point d'arrêt.

Déformation excessive: écart dimensionnel dû au retrait et à la déformation de la soudure.

Dimensions incorrectes de la soudure: écart par rapport aux dim prescrites.

Epaisseur excessive.

Largeur excessive.

Gorge insuffisante: critère à respecter --> valeur de gorge.

Hauteur excessive de la gorge.

Soudures déportées: en BâB faible ép --> soudeur en cause (ne suit pas le joint). Défaut de surf, manque de liaison, manque de fusion.

**6: défauts divers**: défauts n'entrant pas dans les groupes 1 à 5.

Coup d'arc/amorçage accidentel: sur matériau sensible --> on risque tous les types de défauts (fissure à froid pe). Zone non contrôlée après soudure en gal. Attention au meulage qui maquille le défaut.

Projections: éclaboussure de métal en fusion sur ZF ou MB.

Projection de tungstène: TIG.

Déchirure locale ou arrachement local: blessure locale superficielle du MB produite lors de l'arrachement d'attaches soudées temporaires.

Coup de meule.

Coup de burin

Meulage excessif: réduction de l'ép de la pièce.

Défaut de soudure de pointage: pointage incorrect (point rompu ou non pénétré).

Cordons opposés décalés: écart des lignes médianes de 2 passes.

Couleurs de revenu: légère oxydation de surf en ZF (inox pe).

Surface calaminée: forte oxydation de la surf en ZF.

Résidus de flux: élimination insuffisante en surf.

Résidus de laitier: idem.

Mauvais assemblage en soudure d'angle: écartement insuffisant ou excessif entre pièces.

Gonflement: brûlure de joints soudés en alliages légers (maintien prolongé dans l'intervalle de solidification).

## CONTROLES NON DESTRUCTIFS

Types de contrôle/type de défaut détecté:

CND	Géométrie	Compacité	Défauts de surface	Défaut internes
Examen visuel	<b>X</b>		<b>X</b>	
Ressuage		<b>X</b>	<b>X</b>	
Magnétoscopie		<b>X</b>	<b>X</b>	
Radiographie		<b>X</b>	<b>(X)</b>	<b>X</b>
Ultrasons		<b>X</b>		<b>X</b>

Visuel et radio permettent de nommer les défauts (on les voit).

US donne des indications volumiques ou non volumiques.

Ressuage et magnéto donnent des indications linéaires ou non linéaires.

**1) Contrôle visuel:** examen préliminaire indispensable à tout autre contrôle de surf ou compacité. Simple.

Permet de déceler les défauts de forme, les défauts débouchant en surf.

Indications sur les conditions d'exécution de la soudure.

Personnel:

Connaissance des normes, règles et spécif de contrôle.

Information sur le procédé de soudage.

Bonne vue.

Outils: loupe, microscope, binoculaire, endoscope, jauges.

**2) Ressuage:**

Permet de déceler les défauts débouchants sur matériaux non poreux.

Défauts ouverts: détection assurée. Défauts bouchés ou matés: détection aléatoire. Défauts sous-jacents ou internes: détection impossible. Indication prise en compte si  $l > 2\text{mm}$ .

Exploite les propriétés de mouillabilité et de capillarité des produits utilisés. Effet buvard.

Avantages: technique simple et peu coûteuse, application étendue, indications linéaires et arrondies.

Inconvénients: produits toxiques, temps de réalisation, défauts uniquement débouchants, nécessite qualification des opérateurs de contrôle.

Méthodologie: nettoyage de la surf à examiner, application du pénétrant, élimination de l'excès de pénétrant (3 minutes après), application du révélateur, examen sous lumière blanche ou UV (révélation  $\approx 30$  minutes), remise en état de la pièce.

Indication + grande que le défaut lui-même.

Sur alliages d'alu la fine couche d'alumine (poreuse) diminue la sensibilité.

**3) Magnétoscopie:** "examen par aimantation". Avec électro-aimant ou par passage de courant.

Permet de déceler les défauts débouchants voire sous-jacents sur matériaux ferromagnétiques.

Défauts superficiels ouverts, matés ou bouchés: détection assurée. Défauts sous-jacents: détection satisfaisante à aléatoire (jusqu'à 2 à 3 mm de profondeur en théorie). Défauts internes: détection impossible.

Méthodologie: application d'1 révélateur magnétique et magnétisation jusqu'à saturation simultanément. Visualisation des indications perpendiculaires au champ magnétique (par accumulation du révélateur au droit de ces défauts). Il y a déviation des lignes de champ en présence d'1 défaut. Direction du défaut est très importante --> contrôle en croix pour s'assurer de détecter 100% des défauts.

Possible en soudure d'angle si bons contacts.

Possibilité d'utiliser 1 laque de contraste.

Indication + petite que le défaut.

Avantages: rapide, indications linéaires ou non.

Inconvénients: magnétisme résiduel (prévoir démagnétisation après examen avant de faire les réparations, nécessite 1 alim élec, géom des pièces, défauts volumiques non détectés.

#### **4) Radiographie:**

Permet de détecter les défauts volumiques et défauts plans orientés favorablement. Permet de définir nature et dimension des défauts mais pas leur profondeur.

S'applique sur toutes sortes de matériaux.

Paramètres influençant la détection: ép et forme du matériau, nature du matériau, forme et nature des discontinuités affectant le matériau, position de ces défauts dans l'ép, nature de la source (énergie) et type de film, conditions opératoires (orientation du faisceau et distance focale).

Méthodologie: basé sur l'absorption différentielle des rayons X ou  $\gamma$ . Pièce bombardée par un rayonnement de forte énergie, de faible longueur d'onde. Rayonnement partiellement absorbé par l'ép de matériau rencontré. La quantité de rayonnement transmis (ayant traversé la pièce) vient impressionner 1 film photographique.

Contraste meilleur en rayons X,  $\gamma$  adapté au chantier (source transportable).

Domaine d'application: X classique 0 à 60 mm, rayons  $\gamma$  20 à 200 mm.

Avantages: défauts nommés, archivage des films.

Inconvénients: pb radioprotection, défaut perpendiculaire à la source non détecté, nécessite d'avoir accès des 2 côtés de la pièce.

Personnel: apte médicalement, apte à manipuler les sources de rayonnement.

#### **5) Ultrasons:**

Permet de détecter les défauts internes, linéaires ou non et de les positionner en profondeur.

Identification exacte du défaut et de sa hauteur + aléatoire.

Méthodologie: ondes mécaniques envoyées par 1 transducteur dans le matériau. Onde réfléchiée si 2 milieux de nature différente et captée par le même transducteur.

Différentes méthodes:

Examen par réflexion: 1 seul transmetteur, défauts perpendiculaires au faisceau.

Examen par transmission: 2 transmetteurs. Config directe ou par transparence (émetteur d'1 côté, récepteur de l'autre), config en V<sub>é</sub>, config en tandem.

Méthode en opposition: 2 transmetteurs (à la fois récepteur et émetteur). Détection fissures en peau et corrosion.

Contrôle par immersion --> automatisation du contrôle.

Onde transversale ou longitudinale / soudure.

Ne nécessite pas l'accès des 2 côtés.

Fonctionne bien avec les aciers, + délicat sur les alliages légers, les alliages cuivreux, les inox austénitiques.



Avantages: transport simple, donne la profondeur du défaut.  
Inconvénients: défauts non nommés, bonne pratique nécessaire.

Personnel: formation spécifique pour interpréter les résultats.

### **6) Autres techniques:**

Emission acoustique: contrôle de la qualité des soudures par enregistrement des ondes créées par les micro-déplacements internes du matériau (déformation plastique, initiation et propagation de fissures).

Courant de Foucault: pièce soumise à champ magnétique --> analyse des indications (discontinuités géom, irrégularités de structure, var compo chimique).

Thermographie infrarouge: observation des différences thermiques de surface liées à la propagation de la chaleur dans le matériau (pièces minces).

### **7) Formation du personnel:**

Organisation de la certification est sous la responsabilité de la **CO**nfédération **FR**ançaise pour les **Essais Non Destructifs**.

Qualification d'1 agent de contrôle pour 1 méthode, 1 niveau et 1 secteur industriel.

2 options: fabrication seulement ou fabrication/maintenance.

3 niveaux:

Niveau 1: exécution du contrôle (n'interprète pas).

Niveau 2: interprète les résultats, formation et encadrement niveau  $\leq 2$ , choisit la technique du CND.

Niveau 3: assume l'entière responsabilité d'1 installation de CND, formation et encadrement niveau  $\leq 3$ .

Certification valable 5 ans, renouvelée pour 5 ans. L'agent doit fournir la preuve qu'il a passé l'examen d'acuité visuelle et qu'il n'y a pas eu interruption notable dans la pratique de sa méthode. Recertification tous les 10 ans par examen pratique selon procédure simplifiée.

### **8) Choix des CND:**

Pas de CND universel mais contrôles appropriés à la recherche de défauts bien spécifiques.

Éléments à prendre en considération: nat des matériaux, forme de la pièce, carac dimensionnel de la pièce, type d'assemblage, classe de construction, stade d'intervention.

Dans ce dernier cas, 3 types de contrôles:

Contrôle avant soudage: MA, MB, procédé, main d'oeuvre.

Contrôle pendant soudage: respect carac joints, séquences, dispositions des passes, TT.

Contrôle après soudage: destructif, semi-destructif, non destructif.

Types et localisation des défauts:

Défauts de géom --> en surf (groupe 5 de la norme)

Défauts de compacité --> en surface ou interne, affectent la structure même du matériau.

Défauts de surface débouchants ou sous jacents.

Défauts internes.

**Contrôles destructifs:** examen de texture, essai d'éclatement (capacités gonflées jusqu'à éclatement avec examen des déchirures), essais mécaniques (traction, flexion par choc).

## QUALIFICATION DES SOUDEURS - NF EN 287-1

Soudage par fusion - partie 1 : aciers. Version 2004  
Projet de norme ISO 9606-1 en cours.

Contrôle de l'habileté gestuelle du soudeur. Qualification pour les conditions de l'épreuve mais aussi pour tous les assemblages considérés comme plus facilement soudables.

Procédés de soudage manuels ou semi-automatiques. Procédés totalement mécanisés ou automatisés voir EN 1418 (qualif opérateur).

La qualif s'effectue en présence de l'examineur ou de l'organisme d'examen.

Assemblages de qualif marqués avec identification examineur et soudeur.

L'épreuve doit suivre le DMOS-P ou DMOS.

Temps de soudage doit être représentatif du temps de fab dans des conditions normales.

Au moins 1 arrêt et 1 reprise doit être effectué dans la longueur d'examen (1ère passe et passe terminale).

Autorisation d'éliminer les imperfections mineures par meulage (sauf sur les surfaces).

Vérif des connaissances professionnelles recommandée mais pas obligatoire.

Le certificat est délivré sous la seule responsabilité de l'examineur ou de l'organisme d'examen.

Il appartient en toute rigueur au payeur.

### **Variables essentielles:**

Procédés: assemblage multiprocédé (on peut qualifier 2 procédés ou +).

Produits: tôle "P" ou tube "T".

Tube dia ext > 25 mm couvre les tôles, tôle couvre tubes dia ext  $\geq$  500 mm (toutes positions).

Type de soudure: BW couvre FW mais si production principalement constituée de soudures d'angle passer qualif en angle.

Groupe de matériaux: voir ISO 15608. Une qualif sur 1 métal d'1 groupe qualifie pour tous les métaux du même groupe. Attention 1.1 1.2 et 1.4 ne qualifie pas 1.3. 1 qualif sur 1 groupe qualifie les groupes de rang inférieur (groupes 1 à 7).

Produit consommable: qualif avec MA couvre sans MA mais pas l'inverse.  
nm: sans métal d'apport.

Electrodes enrobées: R ne couvre pas B, B couvre R, C ne couvre que C.

Fil fourré fourrage à poudre métallique "M" couvre fil plein "S" et inversement.

Dimensions: ép tôle (ép de métal fondu en qualif multiprocédé) ou dia ext tube.

Plages de validation:

BW pleine péné

$t < 3 \rightarrow t \text{ à } 2t$

$3 \leq t \leq 12 \rightarrow 3 \text{ à } 2t$

$t > 12 \rightarrow \geq 5$

Tube

$D \leq 25 \rightarrow D \text{ à } 2D$

$D > 25 \rightarrow \geq 0,5D \text{ (25 mini)}$ .

FW  $t < 3 \rightarrow t \text{ à } 3$

$t \geq 3 \rightarrow \geq 3$ .

On distingue le monocouche du multicouche.

On prend en compte les 2 épaisseurs pour définir la plage de validité.

### Positions de soudage:

PA: à plat

PB: angle à plat

PC: corniche

PD: angle au plafond

PE: plafond

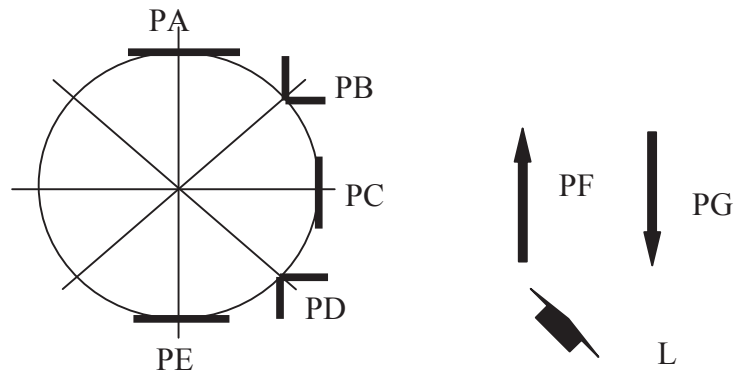
PF: montante

PG: descendante.

H-L045 : tube à 45° en montant

J-L045: tube à 45° en descendant.

K: orbital.



PB et PD ne sont utilisées que pour les soudures d'angle.

Qualif pour la position de l'essai mais aussi pour les positions considérées comme + faciles.

PG ne qualifie que la PG.

PF qualifie toutes les positions sauf corniche.

H-L045 qualifie tout sauf PG et J-L045.

### Détails concernant le soudage:

Pour BW: ss soudage d'1 seul côté / bs soudage des 2 côtés.

Pour FW: sl soudage monocouche / ml soudage multicouche.

Pour SOA: lw soudage à gauche / rw soudage à droite.

mb soudage avec support envers / nb soudage sans support envers.

Soudage à droite ne qualifie pas soudage à gauche et vice-versa en procédé 311.

BW: ssnb couvre ssmb et bs, ssmb couvre bs, bs couvre ssmb.

FW: ml couvre sl mais pas l'inverse. Ne pas confondre multicouche et mutlipasse.

Gorge doit être comprise entre 0,5t et 0,7t.

### Dimensions des éprouvettes: dimensions minimales.

BW: 2 morceaux de 125 \* 300 mm

FW: 2 morceaux de 125 \* 150 mm

Tube: 2 morceaux de 125. 1 longueur minimale d'examen de 150 mm est exigée. Si la circonférence du tube est inférieure à cette valeur 3 assemblages supplémentaires maxi seront exigés.

### Contrôles, examens, essais: examen visuel systématique.

BW: choix entre radio ou pliage ou texture. Si radio effectuée: 2 essais de pliage ou 2 essais de texture supplémentaires obligatoires pour 131 135 136 et 311.

FW: essai de texture ou macro (au moins 2 coupes). 1 macro doit être réalisée à l'endroit de la reprise.

### Validité: la validité de la qualif débute à la date de soudage de l'assemblage.

Qualif valable 2 ans sous réserve que le coordonnateur en soudage confirme tous les 6 mois que le soudeur a travaillé dans le domaine de validité de sa qualif.

Prolongation par 1 examinateur ou un organisme d'examen (tous les 2 ans) au vu des enregistrements et des preuves.

**Désignation:** réf à la norme - n° procédé - type produit (P ou T) - type de soudure (BW ou FW) - groupe de matériaux - produits consommables de soudage - dimensions assemblage (ép, dia ext tube) - positions de soudage - détails concernant le soudage.

Exemple: EN 287-1 135 P FW 1.2 S t10 PB ml

## QUALIFICATION DES MODES OPERATOIRES DE SOUDAGE - NF EN ISO 15614-1

Soudage à l'arc et aux gaz - partie 1 : aciers, nickels et alliages de Ni. Version 2005.

DMOS-P descriptif de mode opératoire de soudage préliminaire.

Prépa réalisée conformément à ce DMOS-P. Le pointage fait partie de l'essai.

Soudeur qui réalise l'assemblage doit être qualifié.

La qualif s'effectue en présence de l'examineur ou de l'organisme d'examen.

Qualif acquise à vie par l'entreprise.

### **Variables essentielles:**

Procédés: assemblage multiprocédé (on peut qualifier 2 procédés ou +).

Chaque degré de mécanisation doit être qualifié indépendamment.

Produits: tôle "P" ou tube "T"

tôle couvre tubes dia ext  $\geq 500$  mm (toutes positions).

Type de soudure: BW couvre FW mais si production principalement constituée de soudures d'angle passer qualif en angle.

Les assemblages en T ne qualifient que les assemblages en T et les angles.

Il n'est pas permis de passer d'1 dépôt multipasse à 1 monopasse et inversement.

Groupe de matériaux: voir ISO 15608.

Groupe 1: couvre les aciers à limite d'élasticité inférieure.

Groupe 8: couvre les aciers du même sous-groupe.

Produit consommable: 1 qualif avec MA ne qualifie pas le soudage sans MA.

1 MA qualifie les MA de prop méca équivalentes, même type d'enrobage ou de flux, même compo nominale et teneur en H  $\leq$ .

Si flexion par choc exigée --> on s'en tient à la marque spécifique utilisée pour la qualif.

1 changement de MA en ce cas nécessite 1 qualification supplémentaire (flexion par choc).

Dimensions: ép tôle (ép de métal fondu en qualif multiprocédé) ou dia ext tube.

Plages de validation:

BW pleine péné

$t \leq 3$  --> 0,7t à 1,3t en monopasse, 0,7t à 2t en multipasse.

$3 < t \leq 12$  --> 0,5t (3 mini) à 1,3t en monopasse, 3 à 2t en multipasse.

$12 < t \leq 100$  --> 0,5t à 1,1t en monopasse, 0,5t à 2t en multipasse.

$t > 100$  --> pas de monopasse, 50 à 2t.

FW on prend en compte les 2 épaisseurs (plage de validité pour chaque ép).

$t \leq 3$  --> 0,7t à 2t

$3 < t < 30$  --> 0,5t (3 mini) à 2t

$t \geq 30$  -->  $\geq 5$ .

Validité gorge: en monopasse 0,75a à 1,5a, aucune restriction en multipasse.

Tube

$D \leq 25$  --> 0,5D à 2D

$D > 25$  -->  $\geq 0,5D$  (25 mini).

Positions de soudage: la position de l'épreuve qualifie toutes les positions exceptées PG et J-L045 qui font l'objet d'1 qualif séparée.

Détails concernant le soudage:

ssnb qualifie bs et ssmb

ssmb qualifie bs

Apport de chaleur: én de soudage en kJ/s (en intégrant le coeff de rendement du procédé).

Limité à +25% si flexion par choc exigée.

Limité à -25% si dureté exigée.

Gaz de protection: qualif limitée à la désignation selon EN 439.

Mode de transfert: CC ne qualifie que le CC, PA ou GG qualifie indifféremment PA ou GG.

**Dimensions des éprouvettes**: dimensions minimales.

BW: 2 morceaux de 150 \* 350 mm

FW: 1 base de 350 \* 350 mm, pièce à champ 150\*350

Tube: 2 morceaux de 150. 1 longueur minimale d'examen de 150 mm est exigée. Si la circonférence du tube est inférieure à cette valeur 3 assemblages supplémentaires maxi seront exigés.

**Contrôles, examens, essais**: examen visuel systématique.

Essais non destructifs réalisés avant essais destructifs.

TTAS exécuté avant essais non destructifs.

BW: radio, 1 ressuage (ou magnéto), 2 tractions transversales, 4 pliages transversaux, 2 flexions par choc (si ép  $\geq$  12 mm; 1 MF 1 ZAT), 1 dureté (sauf groupes 1.1 et 8), 1 macro.

Assemblage en T: radio, 1 ressuage (ou magnéto), 1 dureté, 2 macros.

FW: 1 ressuage (ou magnéto), 1 dureté, 2 macros.

PV QMOS daté et signé par l'examineur ou l'organisme d'examen.

**Validité**:

QMOS valable pour travaux en atelier ou sur chantier placés sous la même direction technique et le même contrôle qualité du fabricant (qui conserve la responsabilité totale).

**Autres méthodes de qualification**:

- par l'utilisation de consommables agréés (en se limitant aux préconisations fabricant).
- sur la base de l'expérience en soudage (démontrée).
- par l'utilisation d'1 QMOS standard (nécessite 1 système AQ)
- sur la base d'1 assemblage soudé de pré-production (maquette).

## CAHIER DE SOUDAGE

Outil assurance qualité qui permet au fabricant de démontrer comment les exigences demandées seront prévues, gérées et réalisées.

Doit être approuvé avant de commencer à souder.

Doit collecter les enregistrements relatifs à la qualité de réalisation et de contrôle.

Contenu n'est imposé par aucune norme. Il peut l'être par:

- 1 code de construction (CODAP, RCC-M...) qui parle plus de "dossier de fabrication relatif au soudage".
- le donneur d'ordre: traçabilité de la construction d'1 équipement pour en faciliter les réparations ou modifications dans le futur.
- les règles de l'art.

Contenu: minimum

- **Identification:**

Première page: nom et coordonnées du fabricant (logo), désignation de l'équipement concerné par le cahier, n° de commande, cartouche pour les révisions (rédacteur/vérificateur/approbateur), approbation Client.

2ème page: sommaire.

3ème page: documents contractuels.

- **Plan d'identification des soudures** .
- LOFC.
- PV revue de contrat (limite d'emploi).
- **DMOS-T** (fiches de soudage).
- **Qualifications:** QMOS, QS, Qualif personnel END.
- Liste des soudeurs avec désignation de leur qualif, dates de validité et zones soudées.
- Liste des END réalisés sur chaque soudure.
- Etat des contrôles et essais + **conclusions:** PV et rapports essais destructifs et non destructifs, rapports de contrôles dimensionnels, enregistrements TT.
- PV des réparations et rapport de conformité (traçabilité des réparations effectuées en fab).
- Liste des produits d'apport.
- Certificats matériaux (MB et MA).

Rédiger au - 1 cahier de soudage par commande.

Traitement des non-conformités: établissement d'1 fiche de non-conformité qui figure au cahier de soudage et qui précise comment est traitée cette non-conformité (pièce rebutée, réparée ou acceptée dans l'état). La procédure de réparation peut faire l'objet d'1 cahier de soudage annexe ou d'un nouvel indice du cahier de soudage principal.

## QUALITE EN SOUDAGE

Pour assurer la qualité des réalisations, il faut maîtriser les 4 composantes: processus (DMOS/QMOS), coordinateur en soudage (garantie de l'aptitude à l'emploi), personnel (QS), inspection (IWIP).

Norme ISO 3834 définit 3 niveaux d'exigences: qualité complète (3834-2), qualité normale (3834-3) et qualité élémentaire (3834-4).

Minimum requis (3834-4): revue de contrat, sous-traitance conforme à la norme, qualification des soudeurs, responsabilité personnelle du constructeur ou fabricant pour la coordination en soudage, personnel contrôleur suffisant et compétent, respect des recommandations fournisseur pour consommables de soudage, responsabilité conformément au contrat en matière de vérif avant/pendant et après soudage, procédure de traitement des non-conformités, enregistrements relatifs à la qualité conformément au contrat + conservation au moins 5 ans.

**Chargé d'affaire:** anime les relations Client/fournisseur.

**Coordinateur en soudage:** fonction définie par la NF EN 719.

Il est responsable

- de la spécification et de la prépa des opé de soudage
- de la coordination des travaux (be, fab, contrôle, qualité)
- de la gestion des QS et QMOS
- de l'écriture des cahiers de soudage
- du contrôle, vérif, surveillance.

**Inspecteur:** validation des dossiers, des épreuves de qualif, END...durant tout le cycle de fab. Qualif d'inspecteur international en cours de prépa.

## HYGIENE ET SECURITE

Rôles du Comité d'Hygiène Sécurité et Conditions de Travail.  
Assure la protection, l'analyse, promotion et inspection.  
Protection individuelle et collective.

### Chaleur:

Risques de brûlures: par contact avec pièces chaudes, par projections (en cours de soudage ou en cours de décrassage), par flamme (SOA), par rayonnement UV.  
Inflammations accidentelles: sciures grasses, vêtement gras en contact avec O<sub>2</sub>.  
Explosions: mélange air/hydrocarbure, vidange de réservoir.  
Déshydratation: réflexe, hypotension.

### Précautions:

EPI: vêtements incombustibles (en coton), manches longues, col fermé. Gants en cuir. Tablier, guêtres, manchette, cagoule.  
Lunettes pour meulage.

### Electricité:

Le courant continu "repousse" --> risques de brûlures, choc voire chute si travail en hauteur. 0,1 A est mortel.  
Le courant alternatif "attire" --> paralyse la victime (agit sur le système nerveux), troubles cardiaques. Intensité mortelle << 0,1 A.

### Précautions:

Eviter les contacts directs ou indirects.  
Augmenter la résistance de l'interface entre conducteur et soudeur.  
Mettre 1 disjoncteur différentiel.  
Masses métalliques et conductrices doivent être à la terre.  
Vérifier l'isolation des conducteurs.  
Mettre le porte-électrode ou torche dans 1 boîte isolante.  
Gants isolants, chaussures en élastomère.

### Rayonnements:

Infra-rouge: larmes, maux de tête, cataracte si répété (phéno lent et cumulatif).  
Ultra violets: coup d'arc (conjonctivite), coup de soleil (brûlure).  
Lumière visible: éblouissement. Risques de lésions de la rétine.

### Précautions:

EPI: masque avec filtre (classé en échelon en fonction de l'intensité du soudage, du procédé).  
Filtre automatiques réglables (à cristaux liquides).  
Ecrans, rideaux ou paravents pour rayonnements autres que UV.  
Peintures des murs réfléchissant peu les UV (mates).

### Gaz et fumées:

Fumées toxiques: mélange d'éléments de produits d'apport volatilisés (Zn, Mn, Cr), gaz de protection, solvants (trichloréthylène), graisses ou revêtement sur toles, laitier ou flux en brasage.  
Risque d'inhalation --> atteinte des poumons, allergies, cancers.

Exemples:

Vapeur nitreuse (enrobages O A et R): oedème du poumon.  
Oxydes de cadmium (troubles pulmonaires, rénaux), oxydes de Zn (fièvre), fumées issues de la fusion des flux (fluorures --> irritation aiguë des muqueuses et voies respiratoires).



Monoxyde de carbone est toxique.

Risques liés au dégraissage des pièces: effets narcotiques ou empoisonnement chronique lié à l'utilisation de solvants (dérivés chlorés organiques, trichlo pe). Protection des yeux vis à vis des solutions alcalines.

Risques liés à la manutention des produits chimiques et des flux (gants, lunettes).

Risque d'explosion: acétylène, hydrogène (explosifs avec l'air). Manipulation des bouteilles avec précaution.

Risque d'inflammation ou de combustion accélérée par enrichissement de l'air en O<sub>2</sub> (en SOA pe).

Risque lié à l'arc: émission d'ozone --> piqure du nez et des yeux, irritation des muqueuses.

Risques liés aux gaz de protection: caractère asphyxiant.

Ar, He et CO<sub>2</sub> n'entretiennent pas la vie. Ar + lourd que l'air, He + léger que l'air.

En dessous de 18% O<sub>2</sub> anoxie/ asphyxie --> malaises, troubles respiratoires.

#### Précautions:

Ventilation individuelle et collective. Aération forcée si naturelle et insuffisante.

Aspiration à la source (valeur moyenne 7 à 11 m<sup>3</sup>/min).

Eviter le travail en des endroits confinés ou port d'1 masque respiratoire.

**Bruit:** risque de surdité à la longue. > 80 dBA.

Fatigue anormale, irritabilité, stress, maux de tête.

Ex: découpe plasma hors table à eau, procédé arc-air.

Précautions: EPI, surveillance auditive.

#### **Ergonomie du poste:**

Si mal adapté risques accrus (fatigue en fin de journée --> accident du travail).

Eclairage, manutention, rangement, propreté.

Vérif et entretien du matériel.