

## **Bases de la soudabilité.**

Résumé succinct des principes de la soudabilité des matériaux métalliques pour aider à réfléchir ceux qui n'ont vu le soudage que de loin et pour qu'ils ne disent plus seulement : *"C'est joli cette lumière et toutes ces étincelles !"*

**Jacques DEJIEUX**, ingénieur DPE.

(note écrite pour Metjac - janvier 2007)

Le soudage est défini comme étant *"un procédé d'assemblage permanent destiné à assurer la continuité métallique ; celle-ci étant obtenue, soit par chauffage, soit par chauffage et pression, sans ou avec l'emploi d'un produit d'apport complémentaire dont la température de fusion est du même ordre de grandeur que celle du matériau de base."*

Dans cette définition déjà ancienne, on remarque que seuls les métaux et les alliages métalliques sont considérés alors que des matières plastiques sont aussi soudées qu'il existe des assemblages céramique-métal. On relève aussi que le brasage est exclu car il met en œuvre des apports qui fondent à des températures assez différentes et inférieures à celle du métal de base, ce qui n'entraîne jamais la fusion du ou des alliages assemblés.

Or, ce sont des techniques voisines (très voisines, comme le soudo-brasage) et parfaitement complémentaires qui assurent, l'une comme l'autre, la continuité recherchée. Mais aussi pour l'une ou l'autre, avec une plus ou moins grande facilité de mise en œuvre dans des applications qui donneront pleine satisfaction pour le service prévu.

Pour beaucoup la différence n'est pas si bien faite et ils disent simplement : "on soude". Pourquoi pas ?

### **Soudabilité des matériaux métalliques.**

Ca commence comme ça : on soude - **ici** - avec un **outil défini**. (soudabilité opératoire).

Alors le métal **subit et réagit** (soudabilité métallurgique).

Et finalement, la question : le résultat est-il **satisfaisant** pour le **service prévu** de la construction ? (soudabilité globale).

### **Soudabilité opératoire.**

Le premier critère de soudabilité est la bonne réalisation pratique de la liaison.

Le soudage est une **opération ponctuelle** mettant en œuvre une **source de chaleur puissante** nécessaire pour chauffer **localement et rapidement** la matière afin de **compenser**, voire saturer la **conductivité thermique** du métal et d'**obtenir localement la fusion** (soudage proprement dit) ou une température suffisante pour l'étalement (on dit le mouillage) du métal apporté pour la liaison (brasage).

La source de chaleur peut rester **fixe** (soudage par points) **ou se déplacer** tout au long du joint à réaliser. (soudage de proche en proche). (*A une certaine époque, les soudeurs disait : on fait une couture*). C'est cette dernière technique qui vient généralement à l'esprit quand on prononce le mot "soudage".

Il y a des cas très particuliers pour lesquels la source n'est pas ponctuelle ou fixe. Elle chauffe la totalité des pièces à assembler qui peuvent comporter plusieurs assemblages qui sont réalisés en une seule opération (brasage au four).

Bien qu'il existe plus d'une cinquantaine de procédés de soudage dont certains parfaitement robotisés, la première question est toujours celle-ci : peut-on réaliser correctement la liaison, avec le personnel (**qualification**) et le matériel dont on dispose compte tenu :

- de la localisation du joint (**accès, position, environnement**),

- du type de matériaux mis en œuvre. La **puissance de la source d'énergie** est-elle suffisante pour pouvoir chauffer suffisamment vite des métaux souvent réfractaires ou très conducteurs ?

Si certains procédés de soudage ont un large éventail d'applications par leur grande maniabilité

(soudage à la flamme, à l'arc électrique, sous protection gazeuse,...), certains sont spécifiques à quelques applications (soudage par friction) Tous les procédés ne sont donc pas "interchangeables" au gré des modes commerciaux ou de l'humeur du personnel.

Les différentes sources utilisées en soudage sont classées en groupes :

- **jets de gaz chauds** (flammes, plasmas.), pour lesquels l'énergie produite est transférée à la surface de la pièce par convection.
- **arcs électriques**, pour lesquels l'énergie est transférée par bombardement électronique ou ionique et échange par convection et radiation avec la colonne et le plasma d'arc. L'électrode peut être fusible et servir de métal d'apport. Il y a solidarité électrique entre l'électrode et la pièce.(EE, TIG, MIG, Plasma)
- **flux de particules chargées et accélérées** (faisceau d'électrons : FE) ; c'est l'impact des particules qui transfère l'énergie.
- **flux de radiation** (Laser), pour lesquels il y a concentration d'un faisceau lumineux issu d'un générateur optique.

Auxquels on peut ajouter en marge l'**énergie mécanique** : le frottement (soudage par friction) ou le choc (soudage par explosion). On combine aussi **chauffage et pression mécanique** (soudage par résistance, soudage par étincelage).

Une source de chaleur est caractérisée par sa **puissance spécifique** qui est sa puissance par unité de surface de celle-ci. Elle est donnée en W/cm<sup>2</sup>. Les sources de soudage ont des puissances spécifiques comprises entre 10 à 100 W/cm<sup>2</sup> (flamme) et plusieurs millions de W/cm<sup>2</sup> (Laser).

Selon leur puissance, les sources vont plus ou moins affouiller le métal. La pénétration, le volume du bain, sa forme, son brassage et la température du métal fondu vont être très différents d'une source à une autre.

L'étendue de la partie chauffée est directement liée à cette puissance.

Une flamme donne un bain relativement calme dont la température ne dépasse que de peu la température de fusion du métal. La zone chauffée est étendue. Par contre, en soudage par faisceau d'électrons, la zone chauffée est étroite et le bain turbulent de température élevée favorise la perte en éléments.

### Soudabilité métallurgique.

Le deuxième critère est le comportement métallurgique du métal ou de l'alliage mis en œuvre.

Le soudage, du fait du chauffage localisé à température plus ou moins élevée et du refroidissement qui suit, remet localement en cause les propriétés (mécaniques, chimiques,...) qui existent dans les matériaux ; propriétés découlant de la composition, de la constitution et de la structure, c'est-à-dire des composants chimiques et des traitements de fabrication.

Ce sont ces propriétés qui ont justement guidé le choix des matériaux. Il va s'en créer d'autres, plus ou moins convenables selon la manière dont a été conduite l'opération.

Le brasage affecte – relativement - peu les matériaux assemblés, mais les propriétés sont localement fondamentalement différentes du fait de la différence de matière utilisée pour la jonction.

Porté à haute température, la réactivité du métal avec son environnement augmente d'où la nécessité d'une **protection** vis à vis de l'**atmosphère** ordinaire qui entraîne l'oxydation, principalement dans la zone fondue sous l'impact, mais aussi dans les zones voisines.

Dans le soudage à la flamme (au chalumeau oxyacétylénique), ce sont les **gaz de la combustion**, riches en CO qui l'assurent.

En soudage à l'arc avec électrodes enrobées ou sous flux solide, c'est le **laitier** issu de la fusion de l'enrobage ou du flux qui joue, entre autre, ce rôle.

Pour les procédés TIG et MIG, le "IG" pour "inerte gaz" (argon ou hélium), précise la couverture obtenue par une faible circulation de ces gaz autour de l'arc **qui vient isoler** toute la surface du volume chauffé.

Placée dans une enceinte dans laquelle on a fait le **vide** pour permettre la circulation électronique, la pièce chauffée est **totalemt isolée** des actions atmosphériques, c'est le soudage par faisceau d'électrons (FE).

Dans d'autres cas, c'est la **manière** même de souder, la **rapidité** de l'opération ou la **localisation** du joint qui évite l'action atmosphérique ou la rend négligeable (soudage par points, soudage par friction, soudage par étincelage).

Bien d'autres astuces technologiques sont ainsi mises en œuvre dans d'autres procédés que les catalogues commerciaux des fabricants de matériels proposent d'une manière habituelle ou étudiée pour des applications particulières.

On peut profiter de ce milieu protecteur de l'atmosphère pour le **rendre chimiquement actif** afin d'**améliorer ou de modifier** d'une manière contrôlée le **métal fondu** (ajustement des compositions chimiques du métal déposé pour compenser les pertes à la fusion ou fabriquer des nuances nouvelles).

Pour un point d'un matériau soumis temporairement à l'impact d'une source de chaleur, l'histoire thermique se résume au **cycle** suivant : **échauffement, passage par une température maximale, refroidissement**.

Ce **cycle thermique** provoqué par une **source mobile** se déplaçant le long du joint à réaliser est donc un **échauffement** pendant l'approche de la source de chaleur du point considéré ; l'obtention d'une **température maximale** (et un temps de **séjour**) au droit du point (peut-être la fusion selon l'endroit considéré) et un **refroidissement** quand la source s'éloigne. (soudage de proche en proche, soudo-brasage).

Une **source fixe temporisée** reflète le même déroulement des phénomènes (soudage par point, par résistance, par étincelage, brasage),

**L'étude du cycle thermique apporte au soudeur la connaissance du traitement subi par le matériau au point considéré. Il est alors possible de juger l'évolution de la constitution, la plus ou moins grande homogénéité des phases obtenues – c'est à dire la structure - et donc évaluer les propriétés localement obtenues.**

Les températures maximales localement atteintes tracent dans la pièce des **surfaces isothermes** (sur chaque surface la température est partout la même), concentriques pour une source fixe ou parallèles à la trajectoire pour une source mobile.

Il est facile d'y faire correspondre les distances qui les séparent de l'impact afin de définir la **répartition thermique** et donc la localisation et l'étendue des phénomènes engendrés dans des zones dites "**zone fondue**" et "**zone thermiquement affectée**".

N'oublions pas que conjointement aux **évolutions de la structure** dans ces zones chauffées, se développent des **changements de dimensions** dus à la **dilatation et au retrait**. Ces changements sont générateurs de déformations et de contraintes internes résiduelles dues au bridage lié à l'encastrement de la partie chauffée dans le reste de la construction restée à la température ambiante.

Les propriétés physiques du matériau, par exemple la **viscosité à chaud** du métal fondu (soudage au plafond, en montant,...), la **conductibilité électrique** et en particulier la **conductibilité thermique** sont des facteurs importants. Pour ce dernier, comme il a été déjà dit, le chauffage très localisé nécessite une puissance de source importante pour la contrarier. Le soudage du cuivre par exemple exige des sources beaucoup plus puissantes que celles utilisées pour le soudage de l'acier et la fluidité du cuivre liquide rend difficile l'opération.

Compte tenu qu'en soudage le **refroidissement** se produit principalement **par la pièce** elle-même, sa **masse** (ou plus pratiquement son **épaisseur**) et sa *conductibilité thermique* ou mieux, sa **capacité calorifique** sont à prendre en compte.

L'**échange** calorifique **avec le milieu ambiant** n'est souvent à considérer que dans le cas des produits minces, c'est-à-dire ceux pour lesquels la totalité de l'épaisseur est intéressée en une seule fois par l'opération. L'écoulement de la chaleur apportée s'y fait alors selon deux directions qui correspondent aux éléments assemblés.

Ceci définit immédiatement un produit "épais" qui offre une troisième direction d'écoulement correspondant à l'épaisseur qui aggrave les conditions de refroidissement.

L'importance du **milieu ambiant** sera toutefois à prendre systématiquement en compte s'il ne s'agit plus de milieu calme mais de **courants d'air ou d'ambiance particulièrement conductrice** (soudage dans

l'eau, sous l'eau en milieu d'hélium).

Pour les mêmes raisons, la **température initiale** de la pièce est un facteur non négligeable ; plus celle-ci sera élevée (soudage avec **préchauffage**), plus le refroidissement s'effectuera lentement et inversement (en prenant comme exemple le soudage sur chantier en hiver ou en régions froides).

Enfin, l'**énergie linéaire** introduite pour assurer l'échauffement est à prendre en compte (intensité x tension x vitesse de soudage >> joules par centimètre de cordon). Plus on apporte une énergie élevée, plus lent sera le refroidissement et plus élevée la température localement atteinte.

### Comportement des métaux de base.

Nous allons reprendre en le complétant ce qui vient d'être dit sous une autre forme.

>>> Il peut être **très utile** de consulter les diagrammes d'équilibre des alliages mis en oeuvre et, sur ce même site [www.soudeur.com](http://www.soudeur.com), un article du même auteur : "**Propos ordinaires d'un soudeur sur les alliages métalliques**".

Pendant l'échauffement et selon l'**état structural initial**, on constatera :

- le **revenu** des états trempés,
- la **coalescence** (rassemblement de particules fines pour en former des plus grosses),
- la **recristallisation** (naissance de nouveaux grains dans les alliages écrouis),
- des **changements de phases** (austénitisation des aciers) (voir les diagrammes d'équilibre des alliages),
- des **misés en solution** de phases,
- **dilatation** de la zone encastree entre le métal resté froid et l'impact,
- modification des formes du volume chauffé dans la région plastifiée (où la température a été suffisamment élevée pour que le métal perde la quasi totalité de ses caractéristiques mécaniques).
- et et dans tous les cas de soudage par fusion, on constate un phénomène de **surchauffe**, c'est-à-dire un grossissement exagéré des grains.

Au refroidissement, les structures produites seront selon les cas celles d'un retour à l'équilibre (recuit, précipitation) ou celles d'un maintien hors d'équilibre (trempe), jointes à une déformation ou une mise sous contrainte due au retrait plus ou moins empêché par l'encastrement de la soudure entre des régions restées froides car éloignées de l'impact (et aggravée par la masse et la forme de la pièce).

Tel ou tel résultat dépend donc :

- de la composition chimique du métal de base et de sa structure initiale ainsi que de son épaisseur,
- des paramètres du mode opératoire température initiale, énergie, nombre et volume des passes, température entre passes.

(si l'épaisseur augmente ou si la température initiale ou encore l'énergie diminuent, la vitesse de refroidissement augmente, il y a risque de trempe)

### Comportement en zone fondue.

Là encore reprenons et complétons.

Dans la zone fondue, la **température** atteinte **dépasse** largement la **température de fusion**. Une partie du métal ou une partie des éléments s'il s'agit d'un alliage, va se **volatiliser**, plus ou moins selon la nature de la source de chaleur et sa puissance spécifique. Plus la puissance et la température de la source seront élevées plus il y aura perte. Dans le cas d'un alliage la composition de l'alliage est donc modifiée. (perte en chrome dans les inox par ex.)

La composition chimique évolue aussi en fonction du milieu dans lequel a lieu l'opération : **gaz neutre**

de protection, **mélanges gazeux plus ou moins actifs** qui agissent par oxydation, réduction ou carburation. Le contact avec les **laitiers** provenant de la fusion des **enrobages** des électrodes ou des flux permet, si ceux-ci comportent des ferro-alliages, de **compenser** les **pertes** par volatilisation et même d'**allier** le métal fondu. Il est courant de produire de cette manière certaines nuances d'aciers fortement alliés (18 % Cr - 8 % Ni) ou des nuances résistant à l'usure (rechargement local d'outils).

Le métal fondu provenant du métal à assembler va se mélanger avec le métal apporté, c'est la **dilution** qui va modifier la composition chimique de la zone fondue par rapport à la composition de l'apport. Ce phénomène est à prendre en compte particulièrement en soudage de métaux différents, car selon le **taux** de dilution (pourcentage de métal de base fondu entrant dans le bain), il est malheureusement très facile d'obtenir des alliages aux caractéristiques inacceptables. Le taux de dilution dépend du procédé et du mode opératoire (énergie, type de passes - étroites ou larges – mouvements imposés à la source, préparation des bords)

Pour obtenir le **joint** on en prépare la **forme** (francs-bords, chanfrein en V, en X,...) qui représente un certain **volume** à remplir. La préparation favorise l'**accès dans l'épaisseur** si celle-ci est importante. Cette préparation n'est pas le fruit du hasard ni celui du goût artistique du concepteur. Elle dépend tout à la fois des trois critères de soudabilité dont on parle et d'un "quatrième critère" qui est économique (coût de la mise en œuvre du procédé, des préparations, du volume de métal apporté, des manipulations des pièces, de la main d'œuvre plus ou moins qualifiée, automatisation, etc...). Cette forme choisie entraîne un mode opératoire qui nécessite parfois l'exécution de plusieurs couches de métal pour compléter le remplissage. C'est le **soudage en plusieurs passes**. Ce qui veut dire que les raisonnements que nous venons de faire ou que nous allons faire sur le comportement thermique et les facteurs qui l'influencent sont à reprendre en les appliquant à chaque fois sur ces nouveaux supports qui viennent d'évoluer ou, en ce qui concerne la zone fondue, d'être élaborés.

De plus, les propriétés mécaniques finales dans la zone fondue dépendront alors des volumes relatifs de métal resté brut de solidification et de métal traité par les passes successives. (*Il en va de même dans les zones affectées où les structures obtenues lors d'un cycle sont modifiées par le cycle suivant*).

L'éloignement de la source de chaleur fait apparaître la **solidification** du métal fondu. Celui-ci est maintenu dans un **moule** qui n'est pas métallurgiquement inerte puisque les parois sont formées par du **métal de base superficiellement fondu**. Les grains qui débouchent dans cette région que l'on appelle "**zone de liaison**", servent de germes à la solidification. Ils se prolongent alimentés par les atomes en provenance du liquide. Une continuité d'orientation et de dimension des grains s'installe (**épitaxie**). Les grains supports du métal de base sont surchauffés, c'est-à-dire grossiers, les grains solidifiés sont, héréditairement, tout également grossiers. N'oublions pas que les caractéristiques mécaniques dépendent de la dimension des grains.

En soudage de proche en proche, du fait que le **refroidissement** se produit **par le métal de base**, la croissance des grains débute perpendiculairement à la direction de déplacement de la source de chaleur, ce qui est peu favorable. La vitesse de croissance est alors très faible. Mais progressivement l'interface de solidification prend une forme d'équilibre, les grains s'incurvent et la vitesse de croissance augmente. Elle est maximale dans l'axe du cordon. Si la vitesse de déplacement de la source dépasse la vitesse maximale de croissance des grains de l'alliage considéré, vitesse liée à l'écoulement thermique, la solidification orientée par le déplacement de la source cesse en laissant place à une solidification insulaire équiaxée.

Comme nous sommes en présence d'alliage, la **ségrégation** apparaît au cours de la solidification et il y a, au fur et à mesure de la croissance des grains, séparation et drainage d'éléments d'alliage ou d'impuretés vers la partie centrale du cordon. Une **structure dendritique** se construit. Elle est d'autant plus accusée que l'on s'éloigne des bords. Le gradient de température imposé par les conditions de soudage produit une surfusion constitutionnelle qui risque d'entraîner des fissures interdendritiques (**fissures à chaud**) dues aux efforts de retrait s'appliquant sur un métal incomplètement consolidé.

La variation spatiale de la composition chimique ne va pas non plus sans conséquences sur la **tenue à la corrosion** des alliages spéciaux.

Outre d'autres facteurs (mode de transfert du métal apporté, force provenant de la source appliquée sur le métal en fusion pour assurer une pénétration,...), les mouvements imposés au bain fondu, en soudage en passes larges, c'est-à-dire avec un balayage transversal, contrairement au soudage en passes étroites (sans mouvement transversal), modifient le comportement du liquide et l'établissement de la cristallisation à la solidification et donc aussi la répartition spatiale de la composition chimique. Les propriétés mécaniques sont

elles aussi différentes.

Pendant son séjour liquide, le métal va dissoudre des gaz, qui au refroidissement, si celui-ci est rapide, vont donner des soufflures dont la forme dépend de la forme de la cristallisation (soufflures vermiculaires).

Pour illustrer une partie de ce qui vient d'être dit, procédons à un **examen métallographique de soudures par fusion de proche en proche sur acier**.

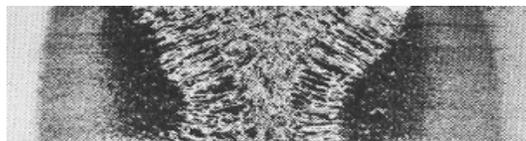
### Cordon simple.

Les examens sont effectués sur une coupe transversale du joint, après polissage mécanique et attaque par une solution alcoolique d'acide nitrique à 10 % pour l'attaque macrographique et à 4 % pour l'attaque micrographique.

### Examen macrographique.

Il existe dans le métal soudé une **zone fondue** et, au-delà, des **zones thermiquement affectées** dont les importances relatives sont variées selon les partenaires (pièce, mode opératoire) Elles sont facilement mises en évidence par **examen macrographique** sur des coupes pratiquées dans l'épaisseur soudée. **C'est aussi l'image de la répartition thermique.**

Ces régions, redisons-le, sont le siège de phénomènes métallurgiques et mécaniques.



métal de base.      zone affectée.      zone fondue  
(clair)              (les deux teintes      (grains orientés)  
                         en sombre)

(macrographie x3 acier à 0,18 % C 1,4 % Mn Soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées - première passe - au fond d'une préparation par chanfrein en V sur tôle épaisse.

Première remarque : les formes des différentes zones colorées ne sont pas parfaitement identiques de part et d'autre du cordon, de même que les limites de la zone fondue. Cela est dû, dans cette soudure manuelle, aux petites variations de la position de l'électrode et des mouvements de celle-ci qui lui sont imposés par la main du soudeur.

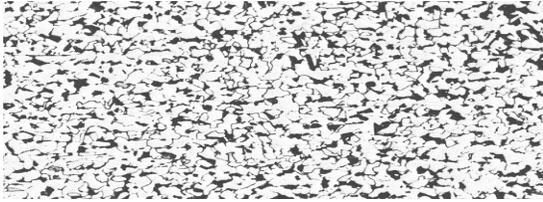
Deuxième remarque : les zones affectées se referment vers la partie haute. Ceci est lié à l'augmentation de l'épaisseur dans la partie ici soudée. En effet nous sommes au fond d'un chanfrein en V, ce qui veut dire que l'épaisseur des lèvres est fine au fond du chanfrein pour assurer facilement la pénétration mais que cette épaisseur s'accroît rapidement dès qu'on s'éloigne. L'évasement du bas du métal fondu (dont la surépaisseur de pénétration a été ici meulée) s'explique par le méplat de tombé de carre et la proximité de la surface de la tôle.

Troisième remarque : Les zones affectées du métal de base montre dans leur étendue des teintes variées qui sont liées aux structures locales, c'est à dire, à la température localement atteinte et aux conditions de refroidissement. Partant du métal de base non affecté, la première limite correspond au début de l'austénitisation (A1, sur le diagramme d'équilibre disons très approximativement 720 degrés, car nous ne sommes pas dans le cas d'un alliage fer-carbone pur comme le prouve la présence de 1,40 % de Mn) Puis vient une région discrètement plus claire marquant de début de l'austénitisation totale (A3, soit débutant à 890 degrés) où les grains sont fins. La température augmentant, l'austénite se surchauffe progressivement et les grains grossiers donnent une structure fortement colorable au réactif.

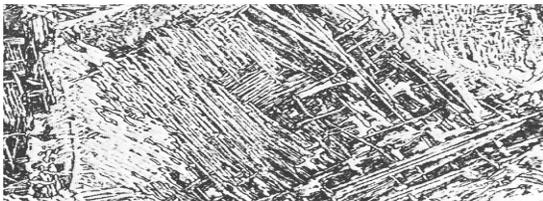
Quatrième remarque : la zone de liaison est nette et la zone fondue montre auprès de celle-ci des grains orientés (un dit aussi "basaltiques") et dans sa partie centrale des grains équiaxés.

**Examen micrographique** (pratiqué sur la coupe précédente).

**Evolution de la structure.**



métal de base : structure de recuit : ferrite et perlite (X 150)



zone affectée – région surchauffée : surchauffe : ferrite aiguillée et agrégat perlitique. Il n'y a pas de trempe ni de fissuration sous cordon (X 200)

zone fondue



zone affectée

zone de liaison

structures de surchauffe et de solidification - les aiguilles de ferrite et l'agrégat perlitique masquent en partie la forme des grains de l'austénite mère - l'épitaixie est difficile à discerner. Il faut suivre les plages linéaires blanches de ferrite (X 150)

**Soudage en plusieurs passes.**

Même préparation macrographique que l'examen précédent.



M. de base

zones fondues et zones affectées du m. fondu.

zones affectées  
du m. de base

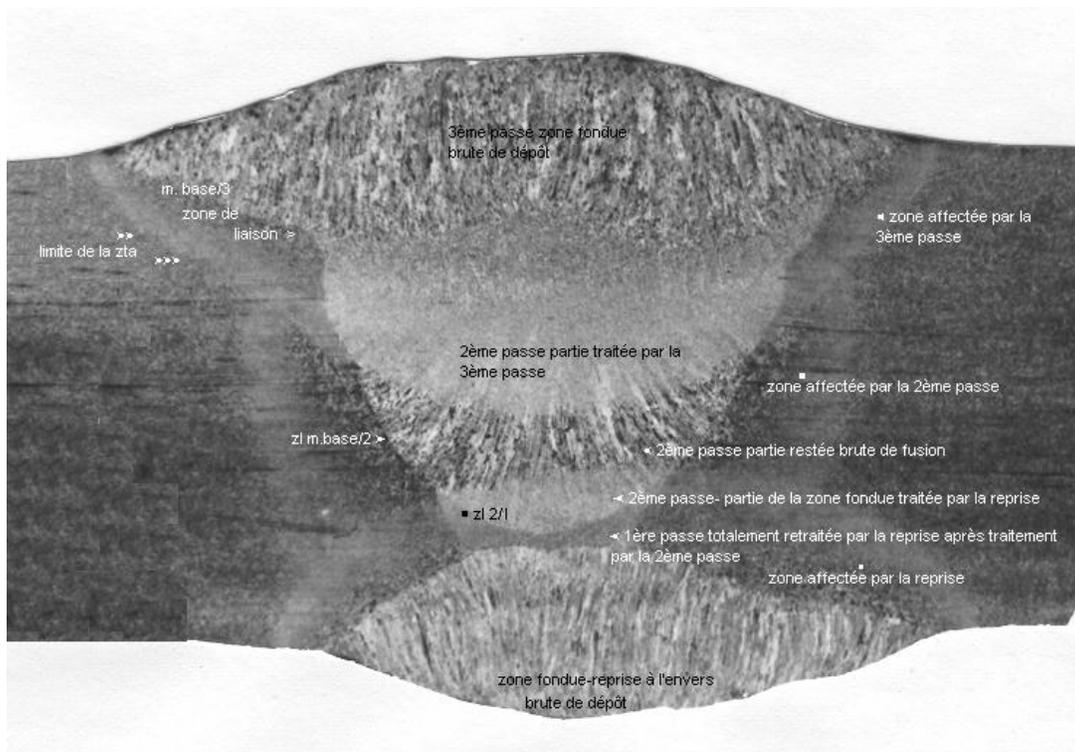
- acier 0,20 % C - soudage automatique sous flux solide en passes étroites - multiplication des différentes zones - vue macrographique partielle d'une soudure bout à bout en rotation continue d'une pièce cylindrique épaisse. Préparation des bords par chanfrein en V - X 2.

Au cours de l'exécution des différentes passes étroites (soudage sous flux solide), chaque passe déjà déposée subit une transformation par le passage de la passe suivante. Les propriétés de la zone fondue dans son ensemble dépendent des volumes restés bruts de solidification et des volumes traités. La forme de chaque dépôt renseigne sur l'ordre d'exécution des passes. Proportionnellement au volume de la zone fondue, les zones affectées sont étroites, car formées au fur et à mesure du passage de la source près des bords qui sont ensuite ignorés lors du passage plus à l'intérieur du joint en construction.

A titre de comparaison, nous pouvons reprendre la macrographie remise par l'auteur sur ce site au paragraphe "images".

Il s'agit, rappelons-le, d'une soudure manuelle à l'arc avec électrodes enrobées, en trois passes et reprise à l'envers, sur un acier ordinaire de construction.

La nature des différentes zones est directement indiquée sur l'image.



### Soudabilité globale.

Ce troisième critère rappelle que les soudures doivent répondre à un **service bien défini** – tenue mécanique, tenue à la corrosion, tenue à la fatigue, ... ; sans caractéristiques excessives ni - et surtout – insuffisantes. Donc, non pas sans défaut, mais sans **défaut rédhitoire** pour le service prévu.

Ces défauts proviennent aussi bien du manque de dextérité du soudeur (collage, manque de pénétration, caniveaux) que de la réponse du matériau. Réponse physique (dilatation, retrait, fissuration) ; réponse chimique (ségrégation, fissuration) ; réponse métallurgique (surchauffe, précipitations, trempe).

Autrement dit, une construction avec des soudures sans défauts obtenues à grands frais n'a peut-être pas sa place dans une construction banale.

La trempe, souvent pourchassée car entraînant de la fragilité, peut être acceptée lorsqu'il ne s'agit de

fixer librement des accessoires sur des pièces secondaires non solidaires de la pièce principale.

Le choix d'un mode opératoire fournissant une forte énergie avec de grand volume de bain peut, dans certains cas, éviter le préchauffage toujours coûteux et pénible pour le soudeur. Par contre, ce choix est à éviter si l'on recherche des caractéristiques de résilience élevées.

Une soudure inconsidérément réparées pour éliminer des défauts mineurs, peut très bien ne pas avoir un comportement en service satisfaisant du fait des contraintes résiduelles d'un niveau que l'on a fortement augmenté par la réparation (locale donc bridée) et qu'il aurait fallu modérer par un traitement relaxant après soudage (coût et difficultés pour des pièces importantes voire non manipulables).

L'ordre d'exécution des soudures d'une construction est important, car au fur et à mesure de ces cordons exécutés, la construction se rigidifie et les retraits de plus en plus empêchés. Si cela peut satisfaire le chaudronnier qui maîtrise alors les déformations, le métallurgiste risque de ne plus y trouver son compte par l'apparition de fissures. Il faudrait alors penser à découper la réalisation en sous-ensembles plus libres et assurer des précautions plus grandes lors de l'assemblage final.

Souvenez-vous qu'une "belle soudure" n'est peut être pas une soudure comme il faut. Elle peut cacher bien des défauts.

Le contrôle visuel de l'aspect (endroit et envers de la soudure) est pourtant bien celui à mettre immédiatement en œuvre. Comme dans les rencontres entre gens, cette première rencontre est celle qui fournit le premier sentiment de confiance.

**Mais chaque cas de soudage est particulier. Il doit être étudié dans son contexte, et les vérifications de qualité que nécessite sa destination doivent être mises en œuvre en conséquence.**

Il est des applications banales pour lesquelles un simple conseil d'exécution, voire "un tuyau", peut dépanner un néophyte ou un bricoleur sans entraîner de risque important.

Mais peut-être n'en va-t-il pas de même pour un monteur responsable d'une intervention sur une construction classée qui nécessite la fixation provisoire par soudage (parce que c'est simple) d'un support de plate forme sur une paroi. Peut-on raisonnablement penser qu'au démontage le meulage du cordon à priori jugé inoffensif – donc effectué sans précaution - éliminera la cicatrice de la zone affectée sans doute durcie par trempe et risquant d'être le siège d'une fissure ? Dans ce cas pourquoi avoir procédé, pour les joints de la construction, à un choix rigoureux de paramètres pour assembler cet alliage chatouilleux et les oublier ensuite ?

Surtout ne pensez pas comme cette personne – pas si folle par ailleurs - qui disait : " *Où avez-vous appris cette façon cabalistique et foncièrement absurde de compliquer le problème le plus élémentaire ?* "

Les accidents liés à des imprudences techniques malheureusement existent bien ; un peu de réflexion préalable à l'action en élimine la quasi totalité. Souder n'est pas à chaque fois réinventer. L'expérience sert de base à la réflexion. Mais il ne faut pas extrapoler trop rapidement une expérience satisfaisante pour un cas d'une application donnée à un autre cas qui peut s'avérer subtilement différent.

Soudez, mais soyez prudents, pas inconsidérément timorés, réfléchissez aux règles qui guident le comportement des métaux, vous trouverez ainsi assez facilement de très bonnes solutions... Et vous serez **un professionnel qui exerce son art avec talent.**

ooooOoooo