



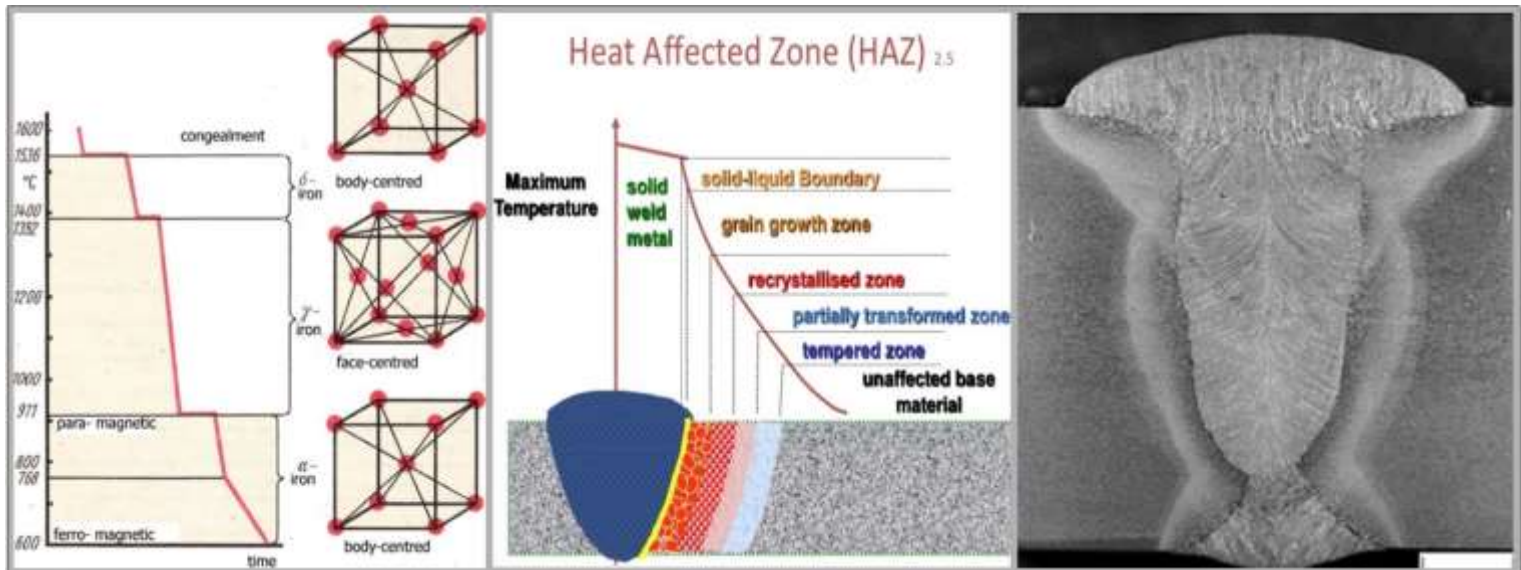
SOUDAGE ET SOUDABILITÉ MÉTALLURGIQUE

ESWL © Conseil en soudage, nous vous proposons notre expérience internationale de l'industrie afin de vous offrir des prestations d'expertise en soudabilité des matériaux, la métallurgie du soudage.

- **Le soudage est une méthode très efficace** pour assembler des matériaux. Il s'agit d'un processus métallurgique complexe impliquant la fusion, la solidification, des réactions gaz-métal, des phénomènes de surface et des réactions à l'état solide.
- **Les nuances d'aciers les plus variées sont utilisées** lors de la conception et la réalisation des constructions soudées. Le rôle principal de la métallurgie du soudage est de connaître la façon dont évolue la structure métallurgique d'un matériau ou du joint soudé.
- **Le but évident** de maîtriser les propriétés mécaniques des assemblages soudés, prévention des phénomènes de fissuration etc....
- **Interventions / Expertises** d'assurance ou judiciaire dans le domaine de la corrosion pétrolière et gazière

Métallurgie de Soudage / Soudabilité des Matériaux

- **La soudabilité est définie** comme la capacité d'un matériau à être soudé dans les conditions de fabrication imposée dans une structure spécifique, avec la conception requise pour fonctionner de façon satisfaisante dans la fonction voulue. C'est l'aptitude de souder un matériau sans introduire de fissures ou d'autres défauts nuisibles et, en même temps, l'obtention des propriétés mécaniques requises par l'application et les conditions de services.

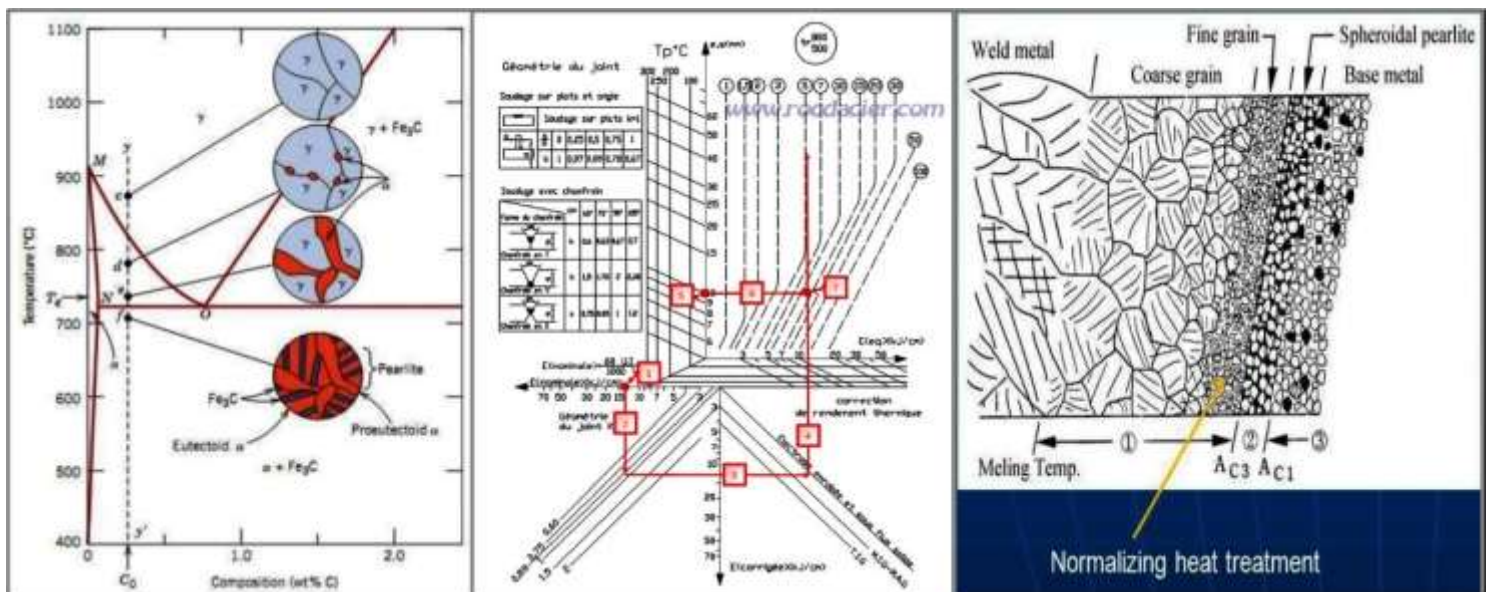




- **Le choix des matériaux** pour les applications dans les constructions soudées implique un certain nombre de considérations, y compris les codes de construction, de soudage et les spécifications contractuelles des clients. Notre expérience de la conception et de la métallurgie du soudage, nous permet de vous offrir les prestations de services d'expertises nécessaires à la sélection des matériaux pour la fabrication de vos appareils à pression, les éléments de chaudronnerie, de tuyauterie etc...
- **Sélection & Evaluations des matériaux** : Pour de nouvelles applications spécialisées, la résistance à la corrosion ou de l'érosion, la ductilité et la ténacité, les propriétés des différentes structures métallurgiques, associés à des cycles thermiques rencontrés lors de l'opération de soudage, doivent être également inclus dans le processus de conception. Les propriétés des matériaux, les conditions de services, la métallurgie du soudage et la soudabilité, les codes et les spécifications sont **les critères principaux pour la sélection des matériaux**.

Ingénierie des Matériaux

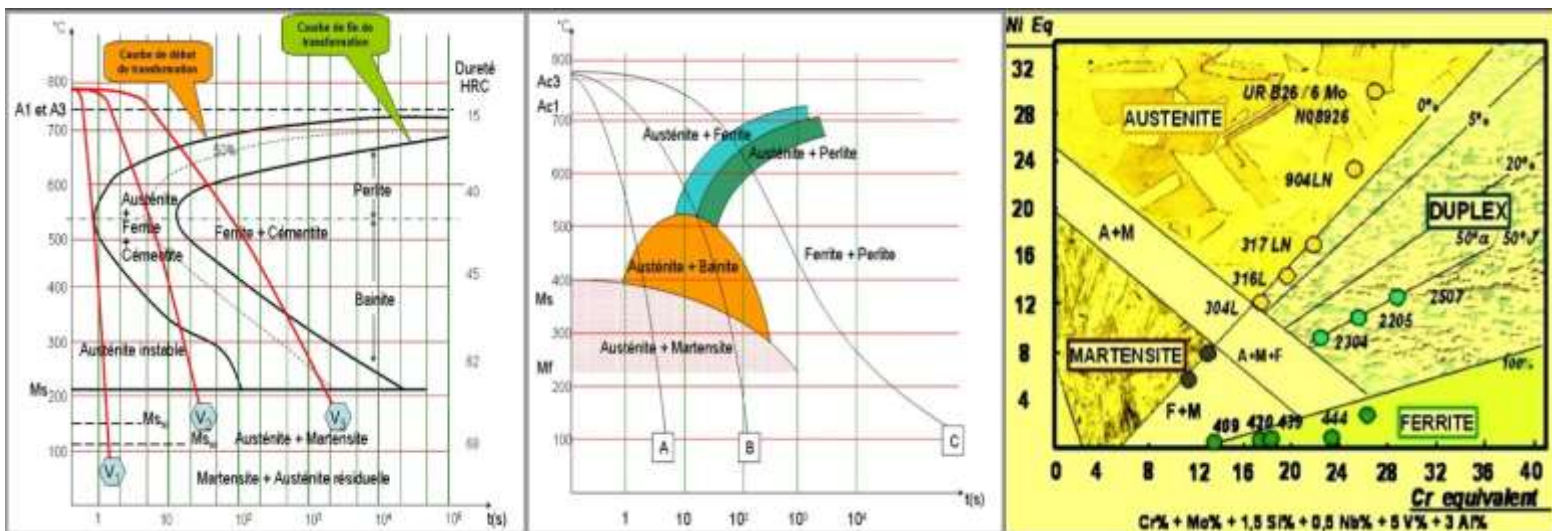
- **Sélection** & évaluation des matériaux
- **Conditions** de service (ambiante, basse température, cryogénique, haute température, pression, Corrosion ...), Les codes de construction & soudage, spécifications contractuelles,
- **Métallurgie** du soudage, soudabilité, préchauffage et post-chauffage, traitement thermique après soudage,
- **Prévention** des phénomènes de fissuration, fissuration à Chaud, microfissures (ZAT), Fissuration à froid....
- **Assemblages** hétérogènes des soudures (AHS), revêtements par soudage,
- **Les propriétés** des matériaux pour les constructions soudées
- **Résistance** à la corrosion





Rappels Succinct de Métallurgie

- **D'une manière tout à fait générale**, les caractéristiques mécaniques d'un acier résultent de sa structure et de sa composition chimique. Pour une structure donnée, la composition chimique influence les propriétés mécaniques par l'effet des éléments en solution solide.
- **Aspect thermique du soudage** : Les caractéristiques mécaniques d'un acier pouvant être profondément modifiées en jouant sur le traitement thermique, de la même façon, les cycles thermiques engendrés par l'opération de soudage vont modifier les propriétés de l'acier (C-Mn / faiblement alliés) dans la zone affectée thermiquement et vont conditionner celles de la zone fondue. Généralement, on caractérise le cycle thermique de soudage par le temps qui s'écoule pour passer de 800 à 500°C (Δt 800/500) ou de 700 à 300°C (Δt 700/300).
- **Métallurgie du soudage** : Les conditions de refroidissement dans le domaine de transformation de l'austénite doivent régir les transformations structurales. Les principaux facteurs qui ont une influence sur le cycle thermique sont l'énergie de soudage, la forme du joint, le procédé de soudage, l'épaisseur du métal de base, la température de préchauffage et la température entre passes.
- **L'effet de variations des conditions opératoires** sur le cycle thermique est généralement sous-estimé. On peut se rendre compte que des modifications « mineures » des paramètres électriques ou de la température entre passes peuvent modifier considérablement le cycle Thermique de soudage et par voie de conséquence, les propriétés mécaniques du joint soudé.

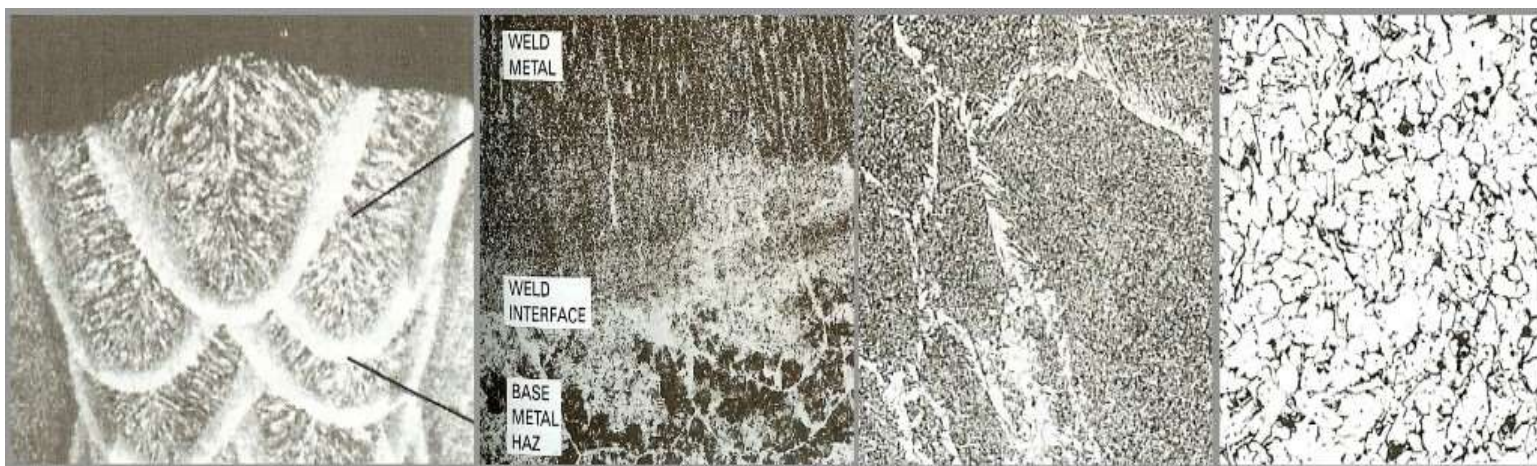


- **Constitution du métal fondu** : La composition chimique du métal fondu résulte du mélange du métal déposé par le produit de soudage avec le métal de base. La proportion de métal de base dans un cordon de soudure est caractérisée par **le taux de dilution**.





- **Influence du métal de base sur la composition du métal fondu**, selon le procédé, le type de joint et la procédure de soudage, la proportion de métal de base est plus ou moins importante et dans le cas d'un joint multi-passes, elle varie d'une passe à l'autre. Or, les produits de soudage sont équilibrés chimiquement pour que leurs dépôts « hors dilution » procurent les propriétés mécaniques requises dans les conditions de refroidissement correspondant aux cycles thermiques de soudage les plus classiques.
- **Chaque fois que l'on soude un matériau** qui subit des transformations de phase au refroidissement, l'analyse du métal déposé par le produit de soudage qui permet d'obtenir les mêmes propriétés mécaniques est différente de celle du métal de base car les conditions de refroidissement lors de l'élaboration de ce dernier sont très éloignées de celles qui sont associées au soudage.



- **L'effet de la dilution**, le métal fondu a une analyse intermédiaire entre celle du métal déposé et celle du métal de base et cette analyse pourra varier d'une passe à l'autre dans le cas d'une soudure multi-passes. C'est la raison pour laquelle la plupart des procédures de qualification de mode opératoire de soudage imposent de vérifier les propriétés à divers niveaux dans le joint soudé et en particulier dans la zone de racine où le taux de dilution est le plus élevé.
- **Particularités du métal déposé** : Le métal déposé provient de la fusion du produit d'apport dans l'atmosphère de l'arc. Lorsque ces procédés sont mis en œuvre, l'analyse du métal déposé est alors très voisine de celle du métal d'apport, elle n'en diffère que par les écarts entre la volatilisation des divers éléments présents.

Influence des cycles thermiques de soudage sur la structure et les propriétés mécaniques des soudures d'aciers.

- **La zone affectée thermiquement (ZAT)**, les modifications les plus importantes des propriétés de l'acier (C-Mn / faiblement alliés) se rencontrent dans la zone à gros grains voisins de la zone de liaison. Elles concernent principalement la dureté et la résilience. L'Influence des éléments d'alliage sur les propriétés de la (ZAT).





- **La zone fondue** : Comme dans la zone affectée thermiquement, les propriétés mécaniques du métal fondu dépendent de sa structure et de sa composition chimique. Dans un joint multi-passes, on peut toujours distinguer deux types de zones : les premières ont conservé une structure brute de solidification tandis que les secondes ont été ré-austénitisées durant l'exécution des passes successives. Les composants microstructuraux de ces diverses zones sont en général très différents. A moins d'être en présence d'une soudure fortement alliée.
- **Influence de la vitesse de refroidissement** : En métallurgie, les diagrammes de transformations en refroidissement continu permettent d'avoir une idée précise de la structure et de la dureté d'un acier en fonction de la vitesse de refroidissement après austénitisation. Ces diagrammes sont spécifiques à chaque acier et à chaque condition d'austénitisation. En soudage, de tels diagrammes n'existent pas, car les variations de vitesse de refroidissement dans le domaine de transformation de l'austénite s'accompagnent toujours d'une variation des conditions d'austénitisation.
- **Influence des éléments d'alliage** : L'ajout d'éléments d'alliage à un acier (C-Mn / faiblement alliés) augmente sa trempabilité en retardant les transformations, abaisse la température du début de la transformation martensitique (M_s). Il en est de même pour le métal fondu à ceci près toutefois que le ralentissement des transformations par l'addition d'éléments d'alliage semble affecter davantage les transformations.
- **Du point de vue des propriétés mécaniques**, l'augmentation de la vitesse de refroidissement et l'addition d'éléments d'alliage ne sont cependant pas tout à fait équivalents. En effet, dans une même microstructure, la présence d'une plus grande quantité d'éléments d'alliage provoque, par effet de solution solide, un accroissement de la résistance à la rupture, de la limite d'élasticité et de la dureté mais aussi une diminution des valeurs de résilience.

Le rôle principal de la métallurgie du soudage est de connaître la façon dont évolue la structure métallurgique d'un matériau ou du joint soudé, dans le but évident de maîtriser les propriétés mécaniques des assemblages soudés qui sont requises par l'application et les conditions de services.

(A mon Mentor Monsieur Christian Bonnet / Air Liquide / CTAS / Expert Métallurgiste International / Métallurgie et mécanique du soudage/ Le métal fondu)

