

DES PLAQUES D'ACIER À HAUTES CARACTÉRISTIQUES POUR DES PONTS À HAUTES PERFORMANCES : INNOVATIONS ET RÉPONSES ENVIRONNEMENTALES DE L'ACIER

Joël RAOUL

Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)

Jean-Michel VIGO

OTUA

1. INTRODUCTION

Les aciers à grains fins de très hautes limites d'élasticité, c'est-à-dire au-delà de la nuance $R_{eH} \geq 355$ MPa et jusqu'à la nuance $R_{eH} = 960$ MPa selon NF-EN 10025 de mars 2005, jouent un rôle de plus en plus important dans la construction des ouvrages d'art. Ces aciers ont d'abord été utilisés pour la construction de grues mobiles dès les années 1970, puis pour la construction de conduites forcées et de pipelines dans les années 1980, puis de structures pétrolières offshore durant la dernière décade. Ils ont été développés continuellement de façon à en améliorer de façon notable : la gamme des épaisseurs accessibles et leur aptitude à la mise en oeuvre par soudage. La première utilisation en France, des aciers S460 en fortes épaisseurs fut pour la construction du pont routier de Rémoulins sur le Gardon, en 1993 (fig.1 et 2).



Fig.1 : Pont de Rémoulins (Gard) : S 355M/ML & S460M/ML

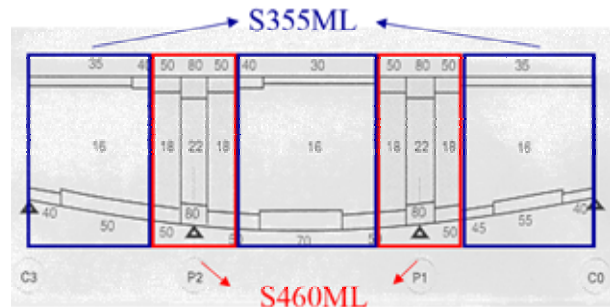


Fig.2 : Pont de Rémoulins : sections homogènes S460M/ML sur appuis

Ces aciers ont connu un développement rapide en France, en Scandinavie, en Allemagne, aux Etats-Unis et au Japon (fig.3), compte-tenu des gains qu'ils procurent, tant en terme de durabilité (résistance à la rupture fragile), qu'en terme de réduction des coûts de mise en oeuvre par soudage, induite par la réduction des épaisseurs. Cette réduction d'épaisseur, donc de quantité de matière, contribue également à réduire l'impact environnemental de l'acier, en réduisant par exemple les émissions de CO_2 , ce qui constitue un atout majeur, à ajouter à d'autres atouts, inégalés par d'autres matériaux de génie-civil, comme par exemple, le fait que l'acier soit non seulement recyclable indéfiniment sans perte de qualité, mais effectivement recyclé.



Viaduc de Millau: ReH $\geq$ 355 & 460 MPa Pont mobile OTAN (Suède): ReH $\geq$ 1100 MPa Pont Akashi Kaiko (Japon): ReH $\geq$ 780 MPa

Fig 3 : Exemples de réalisations montrant l'utilisation d'aciers à hautes performances

2. NORMES ET ÉLABORATION

2.1 Normes, codes de dimensionnement et de mise en oeuvre

La nouvelle norme harmonisée NF-EN 10 025, en 6 parties, de mars 2005, définit une gamme très large de nuances allant du S235 au S960. La nuance S1100 n'est pas couverte par cette norme, elle n'est d'ailleurs, que d'application très confidentielle en construction métallique. Elle sera citée dans cet exposé comme nuance de référence « High Tech » dont le domaine d'application est pour l'instant limité aux grues télescopiques mobiles et cela afin de préciser le positionnement des nuances de construction métallique actuelles et d'en imaginer leur futur développement (fig.4). La nuance la plus utilisée pour les ponts reste le S355, mais l'utilisation du S460 est devenue courante. La nuance S690 est appelée à se développer, en construction métallique, comme en témoignent des exemples récents tant en Europe, qu'au Japon.

Le code de dimensionnement Eurocode 3, dans ses parties courantes couvrant les bâtiments et les ponts, définit un domaine d'application jusqu'à la nuance S460.

Une partie additionnelle donnant des prescriptions complémentaires a été ajoutée (partie 1-12), couvrant les aciers jusqu'à la nuance S690. Toutefois, cette partie 1-12 n'est pas applicable pour les ponts mixtes traités dans l'Eurocode 4. Dans l'attente d'une évolution de cet Eurocode, il convient de se limiter à des calculs dans le domaine élastique. La fabrication est couverte par l'EN 1090.

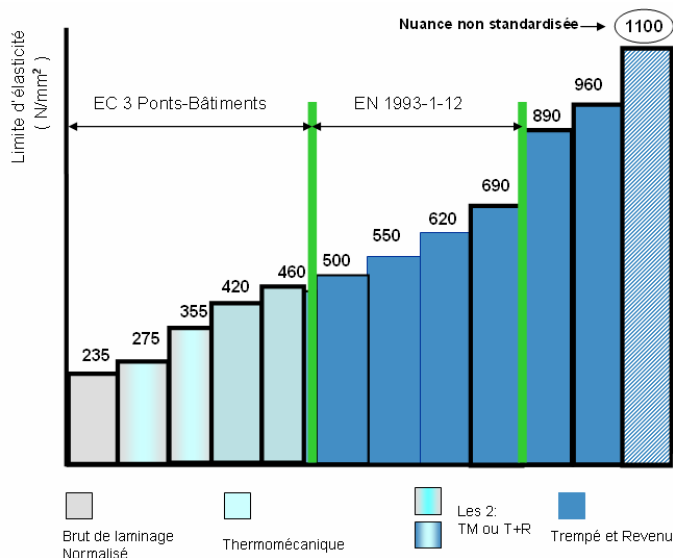


Fig.4 : Gamme de nuances disponibles selon NF-EN 10 025, états de livraison, domaine d'application des Eurocodes.

Les variations de couleur bleue, symbolisent les procédés utilisés par le sidérurgiste, pour fabriquer ces nuances. A gauche du graphique, les caractéristiques de résistance sont conférées uniquement par l'analyse chimique, en se déplaçant vers la droite du graphique, les propriétés de résistance résultent à la fois de l'analyse chimique et du procédé de laminage et/ou de traitement thermiques ultérieurs des produits.

2.2 Elaboration des aciers

Les tôles de structure en acier soudable, sont livrées dans les conditions suivantes: acier brut de laminage, normalisé, thermomécanique, ou trempé et revenu. L'état de livraison "brut de laminage" est cité à titre de référence et de manière à comprendre le positionnement des aciers utilisés pour la construction d'ouvrages d'art. En effet, pour la construction d'ouvrage d'art en France et dès la nuance S355, afin de garantir un bon niveau des valeurs de résilience et une courbe de transition sécurisante de ces valeurs, associé à une bonne aptitude à la mise en oeuvre par soudage, ce procédé est complété soit par un traitement thermique de normalisation, soit remplacé par un procédé de laminage, dit laminage normalisant (techniquement équivalent à un procédé qui utiliserait un traitement thermique de normalisation), soit par des procédés permettant de contraindre la structure métallurgique vers des structures à grains fins et/ou revenues privilégiant à la fois résistance mécanique, résilience et aptitude à la mise en oeuvre, particulièrement la soudabilité.

La figure 5, ci-dessous, précise les procédés de laminage et les traitements thermiques associés, utilisés pour la fabrication des aciers de construction métallique

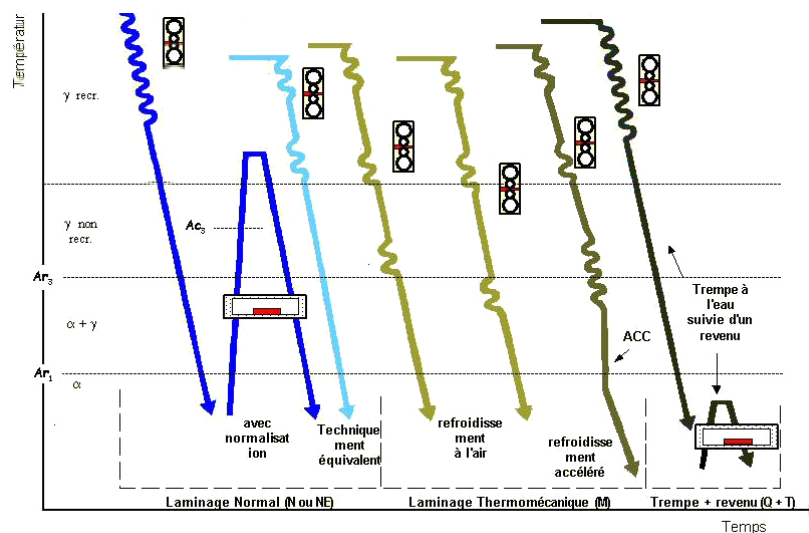


Fig.5 : états de livraison des aciers à hautes et très hautes limites élastiques

- À gauche, en bleu foncé un procédé extrêmement simple, où seul l'analyse influe sur les propriétés de résistance du métal, le schéma de laminage à « haute température » (1200°C environ), n'a que pour seul objectif de conférer la forme final au produit. Ce schéma de laminage peut être suivi d'un traitement thermique d'homogénéisation et d'affinage de grains à une température de 950°C environ, dit traitement de normalisation. Un procédé de laminage dit techniquement équivalent «laminage normalisant » peut se substituer à ce traitement pour la gamme des épaisseurs la plus mince.
- Au centre, en vert le procédé de laminage dit thermomécanique, où le schéma de laminage est conçu pour affiner la taille des grains du métal, par la mise en œuvre de phénomènes d'écrouissage et de recristallisation par exemple, et par là même d'en améliorer sa résistance mais aussi sa résilience.
- À droite en noir, un laminage à « haute température » suivi d'une trempe à l'eau du métal et d'un traitement thermique de revenu. La trempe durcit le métal, mais le rend fragile, d'où la nécessité d'un traitement de revenu ultérieur pour en restaurer les propriétés de résilience. Il s'agit d'acier dit trempés et revenu « TR ou QT comme Quenched and Tempered ».

Il était nécessaire de développer cette gamme de procédés de fabrication, car augmenter uniquement les limites analytiques (% Carbone principalement) pour obtenir la résistance se faisait au détriment de la résilience et surtout de la soudabilité. (Le carbone demeure l'ennemi héréditaire du soudeur!)

3. RUPTURE FRAGILE ET CHOIX DES QUALITÉS D'ACIER

Pour se prémunir contre les risques de rupture fragile, généralement associés à la température de service de l'ouvrage, au niveau et à l'effet de tri-axialité des contraintes (cas des fortes épaisseurs) et de la vitesse du chargement (statique ou dynamique), compte-tenu de l'expérience française et de l'application de l'Eurocode, l'enveloppe des qualités minimales nécessaires sur le territoire français en fonction des épaisseurs, sont données, à titre indicatif, par le tableau 6, ci-dessous :

S355	S460	S690
Epaisseur ≤ 30 mm K2	Epaisseur ≤ 50 mm N ou M ou Q	Epaisseur ≤ 35 mm N ou M ou Q
30 mm < Epaisseur ≤ 80 mm N ou M	Epaisseur > 50 mm NL ou ML ou QL	35 mm < Epaisseur ≤ 55 mm NL ou ML ou QL
Epaisseur > 80 mm NL ou ML		55 mm < Epaisseur ≤ 80 mm QL1

Tableau 6 : Choix des qualités en fonction de la nuance et de l'épaisseur considérée

La qualité ou le niveau de résilience minimal à une température d'essai donnée, requise pour une tôle d'épaisseur donnée, peut être calculé avec précision pour une nuance donnée, une température de service donnée et une contrainte (niveau, vitesse de chargement) en appliquant les formules et tableaux de l'EN 1993-1-10. Cette approche permet de substantielle économie sur l'achat des aciers, en comparaison au choix « enveloppe » du tableau 6, mais doit être gérée avec une grande rigueur en terme de traçabilité des tôles, du producteur d'acier à leurs positions finales sur l'ouvrage.

4. POURQUOI UTILISER DES ACIERS À HAUTES PERFORMANCES ?

Les raisons pour substituer aux aciers traditionnels S355, ces aciers à hautes performances, sont nombreuses, elles peuvent être d'ordres technique, économique ou environnemental, nous pouvons en citer quelques exemples :

- La réduction des quantités d'acier par diminution des épaisseurs à résistance équivalente, vont induire un moindre budget d'approvisionnement, ainsi qu'une réduction de l'impact environnemental du matériau, comme les émissions de CO₂, tant en terme de rejets associés à sa production (par réduction du minerai de fer ou par fusion de ferrailles au four électrique), que des transports (matières premières, tôles d'acier, éléments préfabriqués) ;
- La réduction du nombre de passes de soudage, qui, en fonction de la géométrie des chanfreins, varie fréquemment de façon inversement proportionnelle au « carré » de l'épaisseur, va se traduire directement par un gain de productivité, et par la minimisation des nuisances qu'occasionneraient les fumées de soudage (voir fig.7);

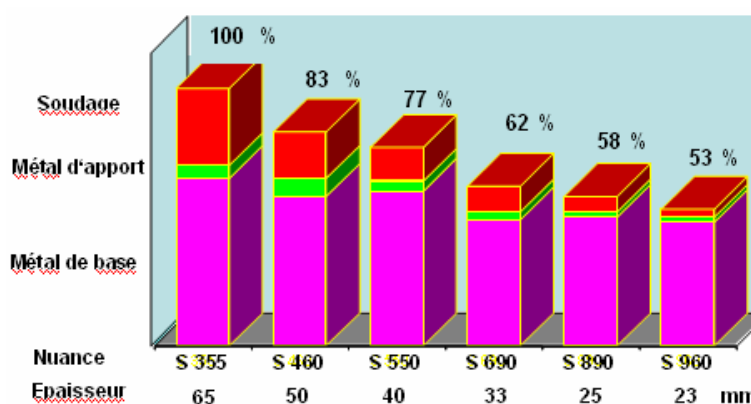


Fig.7 : Réduction des coûts en %

- Dans le même ordre d'idée, l'utilisation d'un acier thermomécanique S355 M/ML en substitution au S355N/NL de soudabilité moins favorable, ou l'utilisation d'un S 460M/ML d'épaisseur moins élevée, permet souvent de s'affranchir du préchauffage avant soudage, ce qui améliore le « confort » du soudeur, donc favorise une bonne qualité d'exécution ;
- La réduction des largeurs des semelles, ou de la hauteur d'âme des P.R.S (Poutre Reconstituée Soudée), à épaisseur égale, permet de réduire les surfaces de peinture et leur impact environnemental associé ;
- La manutention, et les opérations de levage sont facilitées ;
- La réduction du poids propre permet, dans certains cas : d'augmenter les charges d'exploitation (fig.8), ou de minimiser les efforts transmis aux fondations donc leurs dimensions, ou d'alléger l'ouvrage pour optimiser le dimensionnement des treuils et appareils de levage pour les ponts mobiles par exemple ...

	Année	1980	2006
	Longueur.flèche	10 - 31m 4 éléments	10 - 40 m 6 éléments
	Poids	8500 Kg	8300 Kg
	Capacité sur 31 m	10.8 T	16 T
	Acier	S690 QL	S1100 QL

Fig.8 : accroissement de 50% des performances de cette grue mobile par la substitution de la nuance S690 par la nuance S1100, tout en diminuant le poids propre de la grue

5. Y A-T'IL DES FREINS A L'UTILISATION DES ACIERS A HAUTES PERFORMANCES ?

5.1 Cas où la fatigue contrôle le dimensionnement

Les courbes de référence fig.9 et les règles de calculs en fatigue données par l'Eurocode 3 Partie 1-9 sont identiques pour les aciers à basse et à haute limite d'élasticité, pour les joints soudés sans parachèvement. Ceci reflète une réalité mise en évidence par les essais de fatigue. Alors que la limite d'endurance augmente de façon sensiblement proportionnelle à la limite d'élasticité pour le métal de base, il n'en va pas de même pour les joints soudés qui, à configuration identique, présentent sensiblement la même limite d'endurance quelles que soient les caractéristiques du métal de base et du métal d'apport en soudage.

Ce comportement s'explique par la conjonction de trois facteurs :

- Le pied du cordon de soudure est une zone où existe une forte concentration de contraintes. Celle-ci dépend en particulier de l'angle de raccordement du cordon et de la présence ou non d'un rayon de raccordement plus ou moins important ;
- Il existe dans le cordon de soudure et son voisinage un important champ de contraintes résiduelles engendré par le soudage, directement fonction du degré de bridage, de la limite d'élasticité du métal d'apport, de l'énergie de soudage, de l'organisation des passes ... ;
- Même dans un joint de bonne qualité, il existe généralement en pied de cordon des micro-défauts locaux : morsures d'arc, caniveaux, collages... Bien que de petite taille, ces micro-défauts – de part leur forme aiguë – sont susceptibles de jouer le rôle de sites d'amorçage de fissure de fatigue.

Les gains effectifs possibles et la position des codes :

Les résultats publiés dans la littérature montrent que les procédés de parachèvement conduisent à une amélioration de la limite d'endurance allant globalement de 40% à plus de 100%, selon le procédé employé et la classe de détail constructif concernée (fig. 10). L'Eurocode 3 partie 1-9, dans sa version actuelle, ne prend pas en compte l'effet des traitements de parachèvement.

A l'inverse les recommandations de l'IIW permettent de surclasser les joints ayant fait l'objet d'un traitement de parachèvement. La refusion TIG et le meulage du pied de cordon permettent de multiplier par 1,3 le niveau de contraintes admissibles, pour les détails constructifs de classe 90 ou inférieure. Le martelage du pied de cordon, avec aiguilles, permet d'affecter en classe 125 les détails constructifs initialement classés en classe 90 ou inférieure.

Les recommandations publiées par le SETRA en 1996 « Ponts métalliques et mixtes-Résistance à la fatigue », permettent l'adoption de courbes de résistance à la fatigue plus favorables pour les soudures parachevées par les procédés suivants : meulage, refusion TIG, grenailage de précontrainte et martelage.

Dans le cas d'assemblage où la fatigue est dimensionnante, il est donc recommandé afin de bénéficier de l'intérêt des aciers à hautes performances de mettre en pratique les recommandations suivantes :

Optimiser certains détails constructifs :

- Prévoir des goussets circulaires pour les liaisons pièces de pont-poutre;
- Suppression des trous de souris pour les joints de chantier, pensez aux ailes de mouettes;
- Préconiser des soudures à pleine pénétration pour les assemblages sensibles.

Mettre en œuvre des traitements pour améliorer la forme des soudures (fig.11) :

Dans la mesure du possible, en attendant une éventuelle prise en compte des effets bénéfiques des traitements de parachèvement des soudures, tels que préciser par les recommandations de l'IIW, il est souhaitable de mettre en œuvre des procédés permettant d'améliorer la géométrie des soudures (meulage des pieds de cordons, ou refusion TIG), afin d'éliminer les imperfections de forme susceptibles d'amplifier les contraintes locales.

Réduire les contraintes résiduelles et/ou introduire des contraintes de compression :

La mise en œuvre de martelage ultrasonique UIT (Ultrasonic Impact Treatment) ou grenailage de précontrainte permettent également, et de façon d'autant plus efficace que f_y est élevée, d'améliorer la tenue en fatigue des joints soudés (Fig. : 11).

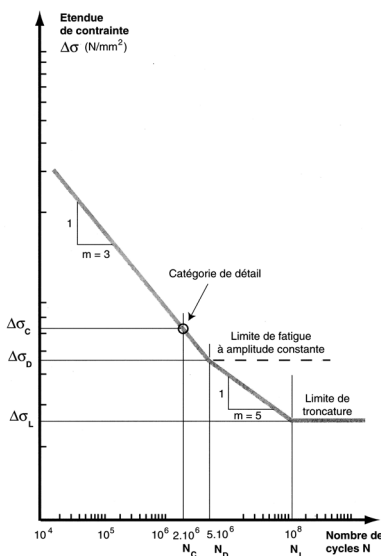


Fig. 9 : Courbes S-N (courbes de Wöhler)

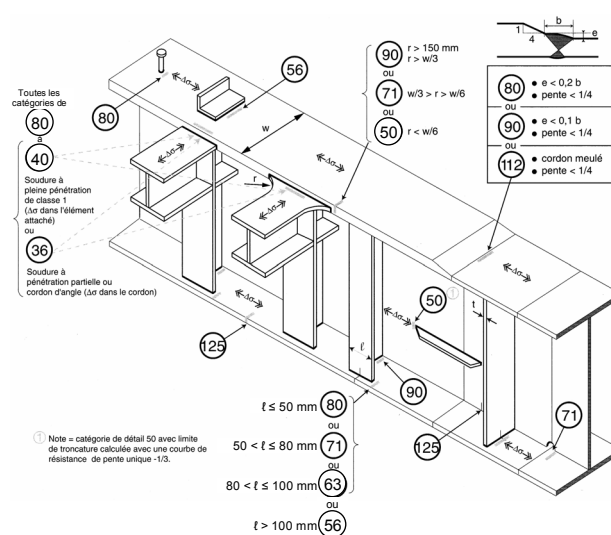


Fig. 10 : Classes de détails ENV 1993-1-1

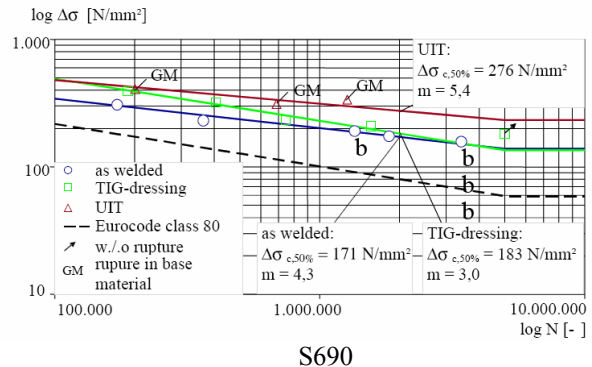
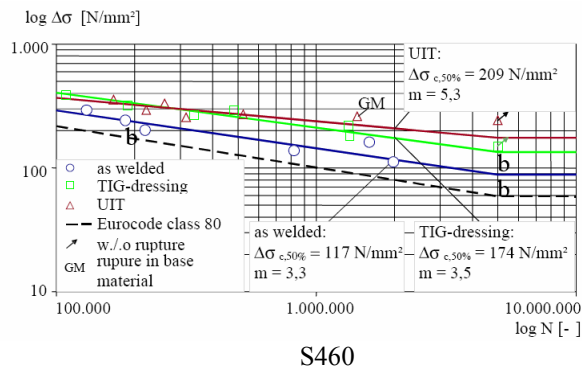


Fig 11 : Courbes de Wöhler (raidisseur transversal, R=0.1)

5.2 Cas où le voilement local contrôle le dimensionnement

De même la sensibilité au voilement local due, aux réductions d'épaisseur, peut conduire à la nécessité d'ajouter des raidisseurs supplémentaires ou un raidissage par des plis formés à froid, comme en témoigne cette flèche de grue télescopique (fig. 12).



Fig. 12 : flèche télescopique composée de 2 demi-coquilles soudées bord à bord
Noter les plis sur la face en compression améliorant la résistance au flambement

5.3 Cas où la flèche (déformation dans un pan vertical de l'ouvrage) contrôle le dimensionnement

Les aciers de construction, qu'ils soient de nuances basses ou élevées présentent quasiment le même module de Young (raideur), de ce fait un acier à hautes performances qui travaillera donc dans un domaine de contraintes plus élevées, présentera une déformation élastique plus importante.

Pour les ponts routiers en France, il n'y a pas de limitation figée de façon arbitraire, ces limitations dépendent du niveau de confort de l'ouvrage recevant ou non un trafic piétonnier. Pour ces ouvrages l'utilisation d'aciers à hautes performances est donc possible.

Pour les ponts ferroviaires, en particulier, ceux des lignes à grande vitesse, les conditions de flèches sont très contraignantes afin d'optimiser le contact rails/roues et le confort des passagers. Pour ces ouvrages l'utilisation d'aciers à hautes performances sera donc à privilégier au niveau des appuis, l'utilisation en milieu de travée, devra passer par une optimisation de la conception de l'ouvrage, en conséquence.

5.4 Disponibilités de ces nouveaux aciers

Ces aciers sont fabriqués en quantités de plus en plus importantes en relation avec la croissance de leur utilisation et ne posent donc pas de problème d'approvisionnement, ce qui est le cas pour la gamme des épaisseurs et nuances utilisées pour la fabrication en série de matériels tels les grues mobiles. Pour une application sur la base de projet unitaire, comme c'est toujours le cas pour les ponts métalliques ou mixtes, il s'agit de tôles dont les dimensions sont « sur mesures », le calendrier reste donc, bien sûr à convenir avec le fournisseur, comme c'était déjà le cas pour la nuance traditionnelle S355.

6. MISE EN ŒUVRE DES ACIERS À HAUTES PERFORMANCES

La mise en œuvre de ces aciers à hautes performances est réalisée avec les outils et procédures de mise en œuvre généralement utilisés en construction métallique.

L'oxycoupage, le soudage et le cas échéant : les techniques de formage à froid et à tiède et le redressage par chaudes de retrait.

Les aciers thermomécaniques peuvent être redressés par chaudes de retrait linéaires. Dans le cas où l'exécution d'une chaude de retrait linéaire se révélerait inopérante, ces aciers peuvent néanmoins subir des chaudes de retrait ponctuelles avec toutefois une température maximale à ne pas dépasser. Cette température se situe généralement entre 700 °C et 850°C en fonction du produit (températures de formage par chaudes de retrait à préciser par le fournisseur).

Pour les aciers trempés et revenus, leur résistance peut être affectée de façon notable lorsqu'ils sont soumis à des températures élevées de façon homogène au-dessus de la température de revenu (720°C environ). Des températures plus élevées occasionnées par des chaudes de retrait peuvent être toutefois acceptables à condition que le temps de passage à ces hautes températures soit assez court comme dans le cas, par exemple, de certaines chaudes de retrait linéaire (conditions de chaudes de retrait à préciser par le fournisseur).

Le soudage est lui aussi plus contraignant pour les nuances supérieures à la nuance S500 et les procédures doivent être strictement appliquées.

Les produits d'apport pour ces nuances existent, sauf pour la nuance S1100, ce qui impose donc l'utilisation d'électrode « undermatching », (c'est-à-dire, avec une limite d'élasticité sur moule standardisé inférieure à celle du métal de base), dans ce cas les soudures devront être positionnées dans les zones de plus faibles contraintes (voir EN 1993-1-12).

Comme tous les aciers de construction usuels (S235 à S355 NL), les aciers à hautes performances présentent un domaine de soudabilité pour une nuance et une épaisseur donnée, contrôlé, par l'énergie de soudage en ordonnée et les températures de préchauffage et entre passes, en abscisse (fig. 14).

Ce domaine est limité par l'apparition de dureté élevée pour les énergies faibles et par une baisse de la résilience et un risque d'adoucissement pour les énergies élevées.

La teneur en hydrogène des produits d'apport en soudage limite également ce domaine, d'autant plus que la teneur en hydrogène est élevée.

Comme le carbone équivalent s'élève quand la nuance et l'épaisseur s'élèvent, il faudra prendre les précautions nécessaires pour réaliser le soudage des aciers à hautes performances, en particulier pour les fortes épaisseurs en S460, et généralement, dès 20 mm pour les nuances supérieures. La figure 15, ci-dessous, donne quelques exemples de conditions de préchauffage pour des nuances S460 M à S960 Q issues de fournisseurs d'Europe occidentale (tableau 13) et cela combinées avec l'utilisation de produit d'apport à très bas hydrogène.

Les techniques de soudages existent et sont donc maîtrisées, mais nécessiteront un bon respect des procédures pour garantir les propriétés du joint soudé.

(*)	S355J2		S460ML		S460QL		S690QL	
	EN 10025 Partie 2	Compos. typique	EN 10025 Partie 4	Compos. typique	EN 10025 Partie 6	Compos. typique	EN 10025 Partie 6	Compos. typique
C	≤ 0.22	0.17	≤ 0.16	0.08	≤ 0.20	0.15	≤ 0.20	0.16
Mn	≤ 1.60	1.50	≤ 1.70	1.65	≤ 1.70	1.50	≤ 1.70	1.30
Mo	-	-	≤ 0.20	-	≤ 0.70	0.115	≤ 0.70	0.37
Ni	-	-	≤ 0.80	0.19	≤ 2.0	-	≤ 2.0	0.15
Cu	≤ 0.55	-	≤ 0.55	0.17	≤ 0.50	-	≤ 0.50	0.08
Cr	-	-	≤ 0.30	-	≤ 1.50	-	≤ 1.50	0.40
CE	0.47	0.42	0.47	0.39	0.47	0.39	0.65	0.54

Carbones équivalents :
 $CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$
 (*): Analyse chimique en %, incomplète, car volontairement limitée aux éléments entrant dans le CE.

Tableau 13 : composition chimique d'aciers à haute limite d'élasticité, d'épaisseur 50 mm. La nuance S355J2 est donnée à titre de comparaison. Extrait des normes Européennes et exemples de valeurs actuelles.

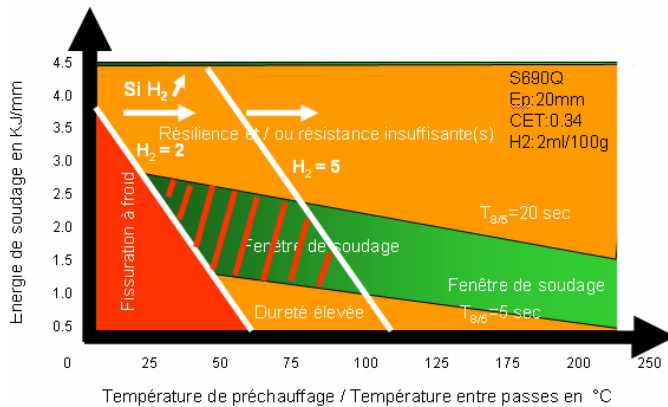


Fig.14 : Paramètres de soudage
préchauffage

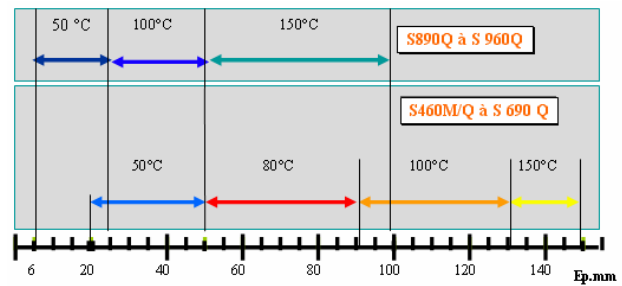


Fig.15 : Exemples de températures de préchauffage

7. CAS PRATIQUE D'UTILISATION DE SECTIONS HYBRIDES POUR LES BIPOUTRES

Comme nous l'avons vu pour la réalisation du pont de Rémoulins, des aciers S460 M/ML et S355 M/ML ont été utilisés, pour constituer des P.R.S de sections homogènes qui utilisent donc, la même nuance d'acier pour l'âme et les semelles (inférieure et supérieure) pour la section considérée (fig. 16). Ce choix avait permis à l'époque de substantielles économies, qui peuvent être aujourd'hui amplifiées par le choix de sections hybrides.

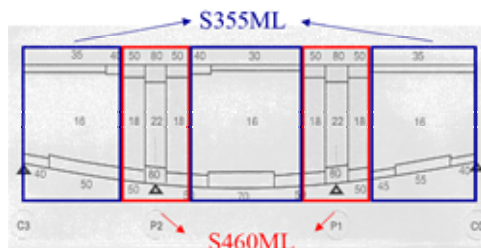


Fig.16 : distribution des nuances des P.R.S du pont de Rémoulins

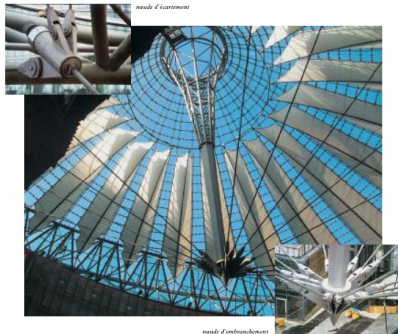
L'EN 1993-1-5, permet aujourd'hui de concevoir des P.R.S comprenant des matériaux hybrides dans une même section. Si la limite d'élasticité des semelles ne dépasse pas deux fois celle de l'âme (fig.17), la plastification de l'âme peut être admise à l'état limite ultime. Pour les ponts les contraintes doivent toutefois rester dans le domaine élastique à l'état limite de service. Pour ce bipoutre Suédois (fig.17), la conception à partir de P.R.S hybrides a permis de réduire de 12% le coût global de la structure en acier, installée, en comparaison à une solution traditionnelle qui aurait utilisé une nuance S355.



Fig.17: Section de P.R.S Hybride

S355 S355/S460 S460/S690

8. QUELQUES RÉFÉRENCES D'UTILISATION



Sony-Center, Berlin

Attaches de la poutre circulaire, nœuds en S690Q



Rion-Antirion Grèce

5 700 t de tôles fortes pour les têtes de pylônes (dont environ 800 t en S 460M) 3500 t d'acier pour le tablier en qualités S460M/ML et S460QL



Viaduc de Millau

18 000 t en S 460 M/ML/Q/QL (ép. : 10 - 120 mm) pour les caissons centraux, certains augets, pylônes et pour les semelles inférieures des liaisons pile - tablier - pylône

172 t de S 460 QL1 (ép. : 130 - 200 mm) pour les chevêtres en têtes de piles ou palées

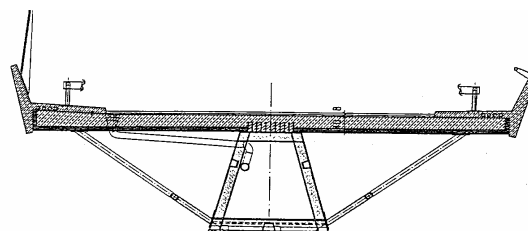


Pont Nesenbachtal, Stuttgart

Portée: 89,50 m

Réduction de hauteur du caisson à 3 m pour des raisons architecturales (élancement important)

Réalisation en S690 en épaisseur max.60mm



9. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'utilisation des aciers à hautes performances se développe en raison des gains engendrés sur la matière, sa mise en œuvre, son transport, l'accroissement des charges d'exploitation et son impact environnemental favorable.

Une utilisation efficace de ces aciers passe par des choix conceptuels adaptés pour chaque application.

Les poutres hybrides sont économiques pour les ouvrages d'art ou autres structures très chargées. Les travaux actuellement menés dans le cadre du groupe de travail AFGC « Aciers à hautes performances » confirment l'intérêt de ces aciers, le rapport de ces travaux est prévue au second semestre 2007, il fera ensuite l'objet d'une publication.

La fatigue n'est pas un frein à l'utilisation des aciers à hautes performances, des géométries adaptées de joints et un parachèvement des soudures permettent une amélioration notoire du comportement en fatigue des structures.

L'utilisation des aciers à hautes performances est un atout de plus pour les maîtres d'ouvrages car ils contribuent à réduire l'impact environnemental des constructions en économisant les ressources dans les domaines suivants :

- une moindre consommation de matière première et d'énergie
- des produits plus légers
- des transports plus faciles
- des produits d'une plus grande longévité
- des étapes de fabrication moins gourmandes en énergie et des rejets moindre dans l'atmosphère.

De nombreux exemples d'applications des aciers à hautes performances existent depuis les années 1990 et leur utilisation se développe tant en Europe, qu'au Japon et aux Etats-Unis.

En France, nous pouvons imaginer que ces aciers à hautes performances associés à des dalles préfabriquées à hautes performances de type BFUP, pourraient étendre le domaine d'application des bipoutres en les rendant plus économiques, tout en favorisant une meilleure préservation de notre environnement.

Sources :

Structural Engineering Documents N°8 de l'IABSE, octobre 2005.

Colloque Le pont, Toulouse 18&19 octobre 2007.

Groupe de travail AFGC, « Les aciers à hautes performances »

Eurocodes 3 & 4, NF-EN10025.

Hochfeste Feinkornbaustähle im Stalbau : Anwendungen im Stahlbau insbesondere unter der Berücksichtigung der Ermüdungsfestigkeit geschweisster Konstruktionen (U.Kuhlmann, A.Dürr, Stuttgart und F.Schröter, Dillingen).

Sites web divers.