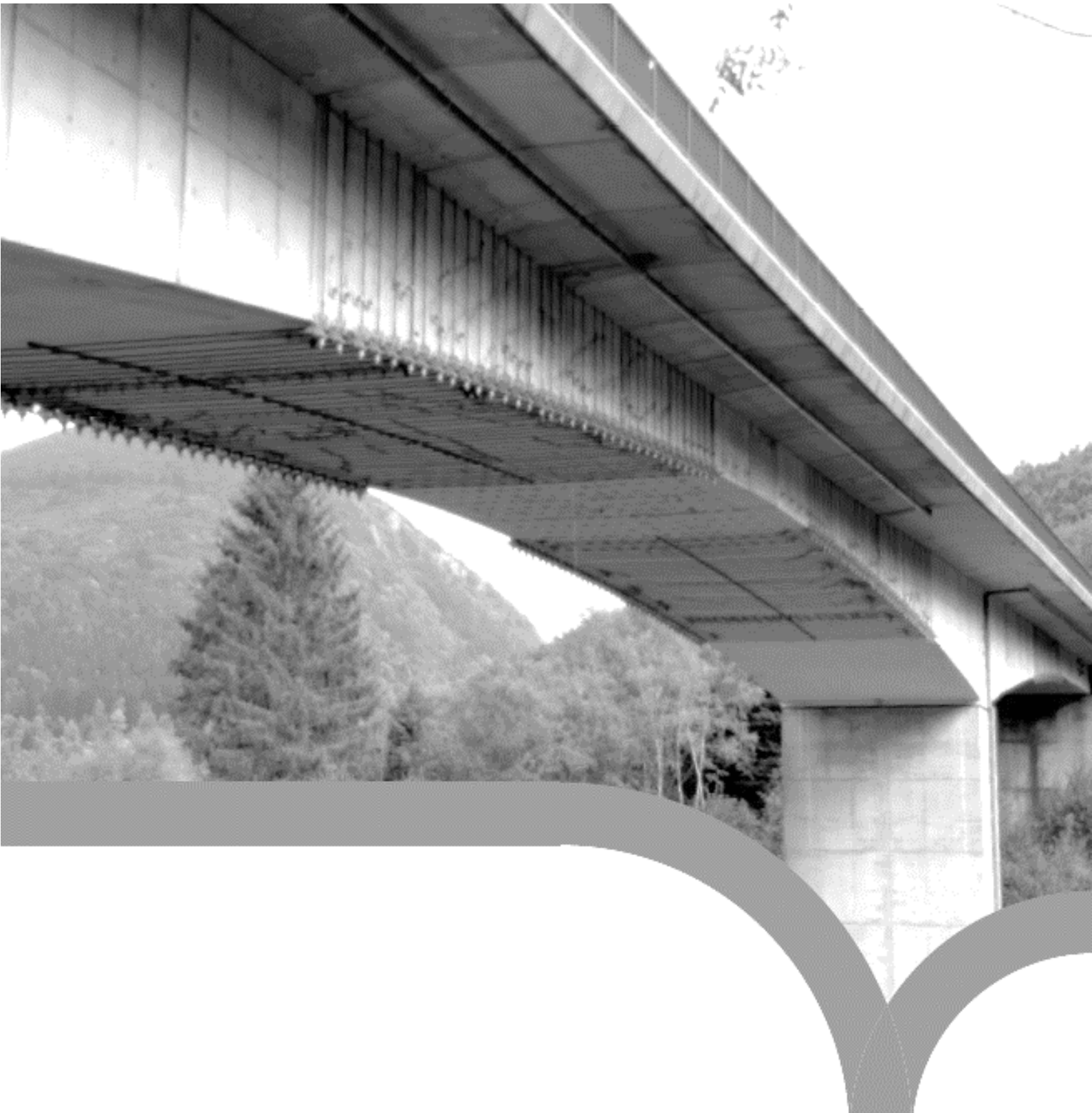
Cerema

Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art

Annexe A-5
Evolution des caractéristiques des métaux pour construction métallique



Rédaction

Daniel POINEAU	Ex-Sétra
Jean-Michel LACOMBE	Cerema Infrastructures de transport et matériaux
Éric LOZINGUEZ	Cerema Infrastructures de transport et matériaux
Fabien RENAUDIN	Cerema Est

Relecteurs

Jean-Michel LACOMBE	Cerema Infrastructures de transport et matériaux
Adrien HOUEL	Cerema Centre-Est

Préambule

Ce document constitue une annexe électronique au guide Cerema de 2015

« Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art ».

Sommaire

Préambule 3

Sommaire 4

Introduction 6

Généralités 8

1 - Historique des métaux pour construction métallique 8

1.1 - Le fer pur ou quasi-pur 8

1.2 - La fonte 8

1.3 - Le fer puddlé 9

1.4 - Généralités sur les aciers et leurs assemblages 10

2 - Historique des profilés pour construction métallique 22

Page laissée blanche intentionnellement

Introduction

Pour pouvoir effectuer le recalcul d'un pont ancien en toute connaissance de cause et avec un risque minimum d'erreur, l'ingénieur chargé de cette opération se doit de savoir comment et pourquoi les règles de charges et de calcul ont évolué et aussi quelles en sont leurs imprécisions, leurs insuffisances voire leurs erreurs. Il convient également de connaître l'évolution des caractéristiques des matériaux de construction.

Le présent document concerne l'historique des métaux pour la construction métallique jusqu'au début des années 1980 avant la mise en application de la normalisation européenne et des Eurocodes.

Le lecteur est également invité à se référer à l'article de Jean-Paul Gourmelon dans le n°20 du bulletin Ponts métalliques de 2000 « Matériaux pour ouvrages d'art métalliques » et au guide du STRRES : FAME I – « Réparation et rénovation des structures métalliques ».

Le document contient également une courte partie relative à l'historique des profilés de construction qui fait référence à l'article « Profilés métalliques anciens - Données sur la géométrie » de Pierre Trouillet, Jean Schwartz et Robert Jolliot paru dans le Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°157 de septembre - octobre 1988.

Le lecteur est également invité à se reporter au Fascicule 33 de l'ITSEOA à paraître en 2017.

Page laissée blanche intentionnellement

Généralités

Les tableaux ci-dessous donnent les principales caractéristiques des différents métaux utilisés dans la construction des ponts métalliques depuis l'origine de ceux-ci jusque vers les années 1960-1970. Au-delà, les informations figurent dans la suite du présent texte. (Il est vivement recommandé de se reporter au bulletin de l'OTUA cité ci-avant qui détaille toutes les évolutions des métaux et des ossatures métalliques depuis le XVIII^{e} siècle).

***Nota** : Les dénominations aciers doux et mi-durs sont des termes de métallurgistes basés sur la teneur en carbone. Nous avons laissé ici ces dénominations d'époque qui avait un sens pour les aciers produits avant les années 1970 mais qui ne permettent plus aujourd'hui de distinguer les aciers modernes.*

Évolution des métaux utilisés pour la structure des ponts						
Les métaux	**Limite élastique σ_e N/mm² ou MPa**	**Contrainte de rupture σ_r en N/mm² ou MPa**	**Allongement à rupture A en %**	**Résistance à la corrosion**	**Soudabilité**	**Autres propriétés**
Les fontes (début 19^{e} à 1850)	$50 \le \sigma_e \le 100$	$100 \le \sigma_r \le 150$	$1 \le A \le 8$	Bonne	Non	Fragile
Le fer puddlé (1830 à début 20^{e})	$170 \le \sigma_e \le 300$	$260 \le \sigma_r \le 400$	$5 \le A \le 25$	Médiocre risque de feuilletage pour les plus anciens	Possible moyennant des précautions opératoires et métallurgiques	Très fragile pour les plus anciens
Fer	$\sigma_e = 180$	$\sigma_r = 300$	30	Très bonne	Excellente en théorie	Ductile
Aciers dits « doux » (à partir 1860)	$240 \le \sigma_e \le 280$	$420 \le \sigma_r \le 450$	$A \ge 22$	Peu sensible à la corrosion	Soudable, après essais pour les ponts les plus anciens	Ductile (voir l'allongement)
Aciers dits « mi-durs » (à partir 1930)	$\sigma_e = 360$	$\sigma_r = 520$	$A \ge 20$	Assez peu sensibles à la corrosion	Les plus anciens ne sont pas soudables	Potentiellement fragile pour les plus anciens

1 - Historique des métaux pour construction métallique

1.1 - Le fer pur ou quasi-pur

Le fer pur été utilisé occasionnellement dans les ouvrages les plus anciens essentiellement pour des éléments d'assemblage. Ses caractéristiques mécaniques sont les suivantes :

- limite élastique σ_e = 180 MPa
- contrainte de rupture σ_r = 300 MPa
- allongement à la rupture A = 30%
- bonne soudabilité, fragilité variable

1.2 - La fonte

La fonte a été utilisée pour la construction des premiers ponts métalliques (pont des Arts en 1804) sous forme de pièces moulées pour une sorte de substitution aux pierres de taille. Elle fut utilisée dans les ponts jusqu'au début du XIX^{e} siècle.

De nos jours, elle est encore utilisée (les tromplaques des ancrages de précontrainte, etc.). Les caractéristiques mécaniques de ces fontes modernes sont bien entendu très différentes des fontes anciennes.

La fonte est un matériau fragile qui résiste mal à la traction, aux chocs (accident du pont de l'Ile-Saint-Denis près de Paris construit entre 1903 et 1904 et heurté le 13 avril 1983 par un convoi fluvial de 3600t, ce qui entraîna la rupture de 4 arches sur les 7 existantes) et aux dilatations thermiques. Il existe encore quelques structures de ponts en fonte par exemple le pont Sully, les piles en fonte du pont ferroviaire de Saint-André de Cubzac en Gironde et celles du pont de Rozat sur la Sioule dans l'Allier.

Les caractéristiques mécaniques des fontes qui ont été utilisées en ouvrages d'art sont les suivantes :

- limite élastique $50\ MPa < \sigma_e < 100\ MPa$
- contrainte de rupture $100\ MPa < \sigma_r < 150\ MPa$
- allongement à la rupture $1\ \% < A < 8\ \%$
- les éléments structurels doivent être considérés comme non soudables et fragiles

1.3 - Le fer puddlé

Le fer puddlé a précédé l'acier. Son procédé de fabrication date de la fin du 18^{e} siècle. Il était obtenu en faisant refondre la fonte issue des hauts-fourneaux dans des fours dits à réverbère. Puis, elle était brassée pour provoquer sa décarburation. Ensuite, à la fin de l'opération, le métal à l'état pâteux était soumis au marteau-pilon pour chasser les scories. Enfin, il passait au laminoir pour obtenir des profilés, des barres et des tôles de petites dimensions (de 3 à 20 mm d'épaisseur pour des dimensions inférieures à 500x1000 mm (de telles tôles ont été utilisées pour la construction de ponts à partir du milieu du XIX^{e} siècle comme par exemple pour celles du pont ferroviaire Britannia de 140 m de portée centrale au Royaume-Uni).

Le fer puddlé est à la base de nombreuses grandes constructions (le pont d'Arcole à Paris, la tour Eiffel, le viaduc de Garabit, l'ossature du magasin de la Samaritaine, etc.). Il fut remplacé par l'acier au début du XX^{e} siècle. Les assemblages des ponts en fer puddlé faisaient appel essentiellement aux rivets.

Les premiers fers puddlés présentent une structure hétérogène constituée d'une alternance de plans d'oxydes et de scories au milieu d'un fer presque pur. Le fer puddlé est difficilement soudable[1] de manière structurelle. Il présente un comportement fragile (rupture sans striction et faible allongement). Enfin, il est sensible à la corrosion feuilletante à cause des plans d'inclusions. Du fait de l'amélioration des techniques de puddlage, les derniers fers puddlés se rapprochent des aciers dits « doux » de type E24 (se reporter aux deux tableaux qui suivent : le premier tableau est issu des règles de charges et de calcul du 29 août 1891, le second tableau est issu du cahier des charges de 1913 et se retrouve dans les règles de charges et de calcul du 8 janvier 1915).

Les caractéristiques mécaniques généralement rencontrées sur les ponts sont les suivantes :

- limite élastique $200\ MPa < \sigma_e < 300\ MPa$
- contrainte de rupture $300\ MPa < \sigma_r < 400\ MPa$
- allongement à la rupture $5\ \% < A < 25\ \%$
- soudabilité à définir par essais, parfois fragiles

[1]Réparation et renforcement par soudure d'ouvrages en fer puddlé par J.P. Persy. Bulletin ponts métalliques n°10 de l'OTUA de 1984.
Réparation par soudage des ouvrages anciens : étude de la soudabilité des aciers par J. P. Persy. Bulletin ponts métalliques n° 14 de l'OTUA de 1990.

Avant de procéder au recalcul d'un pont en fer puddlé, il est indispensable de faire exécuter une expertise du matériau pour en connaître les qualités réelles qui peuvent varier dans de fortes proportions.

Désignation (Règles de charges du 29 août 1891)		**Allongement minimum de rupture en %**	**Résistance R_r minimum à la traction en kg/mm²**
Fer laminé	Profilés et plats dans le sens du laminage	8	32
	Tôles dans le sens du laminage	8	32
	Tôles dans le sens perpendiculaire au laminage	3,5	28
Acier laminé (fer puddlé)		22	42
Rivets en fer		16	36
Rivets en acier		28	38

1.4 - Généralités sur les aciers et leurs assemblages

Les aciers se distinguent des fers puddlés par une plus grande régularité de leurs caractéristiques. Ils ont été mis au point en Angleterre au milieu du XIX^{e} siècle (convertisseur Bessemer en 1856).

Les premiers aciers ont été fabriqués à partir de 1880 en France grâce au procédé Thomas qui est une évolution du procédé Bessemer.

L'acier remplaça le fer puddlé et la fonte dans la fabrication des ponts. Parmi les premières constructions en acier, il faut signaler : le pont en arc de Saint-Louis et le pont de Brooklyn aux USA ainsi que le célèbre pont du Firth of Forth. En France, il convient de noter le viaduc du Viaur pont en arc de 220 m de portée construit à la limite des départements de l'Aveyron et du Tarn.

La proportion d'acier dans les ouvrages d'art progresse très rapidement jusqu'à supplanter définitivement la fonte et le fer puddlé au début du XX^{e} siècle. Cependant, si le principe d'élaboration reste le même, le matériau va beaucoup évoluer tout au long de ce siècle dans le but d'améliorer la régularité des caractéristiques, les performances mécaniques, les dimensions des produits disponibles, ainsi que la soudabilité.

Parmi les évolutions techniques importantes qui ont permis d'améliorer la constance des caractéristiques des produits, on peut citer la mise au point de la coulée continue à la fin des années 1960.

La prise en compte systématique de la soudabilité à partir du début des années 1970 que ce soit du point de vue technique ou normatif permet de faire une distinction forte sur ce critère entre les aciers élaborés avant ou après cette date vis-à-vis de la soudabilité.

L'ajout de certains composants chimiques permet d'améliorer la résistance des aciers vis-à-vis de la corrosion. Ce sont les aciers dits inoxydables (obtenus par ajout de Chrome et de Nickel), non utilisés en pratique du fait de leur coût, et les aciers dits autopatinables (obtenus principalement par ajout de Cuivre et de Chrome).

Les aciers anciens (~1860-~1970)

Ce type d'acier était assemblé à l'origine exclusivement par rivetage. Seules les caractéristiques mécaniques essentielles, limite à rupture ainsi que l'allongement étaient recherchées. Ces aciers sont généralement dénommés par leur limite à rupture (en kg/mm²).

Avant 1913, l'usage de l'acier était simplement évoqué par le règlement de 1891 (nouveau règlement relatif aux épreuves des ponts métalliques du 29 août 1891)**.** La qualité de ces aciers était beaucoup moins normalisée qu'aujourd'hui. On peut considérer qu'entre 1913 et 1970, l'essentiel des ouvrages a été construit avec des aciers de type A42 (limite élastique (Re > 235 MPa) pour ce qui concerne la résistance.

Le cahier des charges général de 1956 distingue deux nuances : l'Ac42 et l'Ac54. Une différence est faite entre les aciers assemblés par rivetage et ceux destinés à être soudés, notamment du point de vue de la résilience puisque les premières garanties de résilience UF sont spécifiées à 0 °C.

Le fascicule 4 titre III de 1962 distingue deux aciers : l'A42 et l'A52, mais la différence majeure provient d'un renforcement des exigences en matière de résilience puisque les aciers soudables doivent présenter des garanties de résilience (valeurs d'énergie Charpy) KCU à 20 °C, KCV à 0 °C ou KCV à –20 °C suivant la qualité de l'acier. Les aciers rivés doivent également présenter une garantie de résilience KCU à 20 °C.

Nota : Chaque nuance d'un acier (par exemple le A 42 S) comporte plusieurs qualités suivant l'usage auquel elle est destinée. Pour les ponts métalliques soudés, ce sont les qualités supérieures qui ont été utilisées (par exemple le A 42 S 4 appelé ensuite A 42 S 41, cet acier de qualité S 4 ou S 41 était soudable et présentait une bonne résilience).

Les aciers de limite élastique de l'ordre de 235 MPa

Ce sont les premiers aciers fabriqués et qui sont toujours utilisés de nos jours pour les charpentes faiblement sollicitées. Ils apparaissent pour la première fois dans les règles de charges de 1891 comme le montre le tableau ci-devant sous la forme d'un acier de limite élastique de l'ordre de 240 MPa. Cet acier deviendra plus tard l'acier A 42 puis le E 24 et de nos jours le S 235.

Les caractéristiques mécaniques de ces aciers sont les suivantes :

- limite élastique $240\ MPa < \sigma_e < 280\ MPa$
- contrainte de rupture $420\ MPa < \sigma_r < 450\ MPa$
- allongement à la rupture $A > 22\ \%$
- bonne soudabilité, ductiles

Vers les années 1920 apparaît l'acier A 48 qu'on retrouve ensuite sous la dénomination E 28 et de nos jours sous la dénomination S 275.

Le tableau ci-après reproduit les données du cahier des charges du 29 octobre 1913 qui ne traite plus du fer puddlé.

Matériaux (Cahier des charges du 29 octobre 1913)	Limite d'élasticité en kg/mm²	Limite de rupture en kg/mm²	Allongement à rupture en %
Acier moulé	22	45	15
Acier laminé (tôles unies, plats, barres rondes et carrées, profilés	24	42	25
Rivets	20	38	28

Les aciers de limite élastique de l'ordre de 355 MPa

Ils sont apparus vers les années 1930 sous la forme des aciers A 52 et A 54 qui furent utilisés dans quelques constructions soudées. Ces aciers à teneur en carbone relativement élevée (0,25 à 0,30 %) provoquèrent des accidents (effondrement d'un pont sur le canal Albert en Belgique et la fissuration de deux ponts en Allemagne avant la deuxième guerre mondiale ; il s'agissait de ruptures par temps froid).

Les caractéristiques mécaniques de ces aciers sont les suivantes :

- limite élastique σ_e = 360 MPa
- contrainte de rupture σ_r = 520 MPa
- allongement à la rupture A > 20 %
- bonne soudabilité sauf qualités anciennes

Leurs caractéristiques sont demeurées longtemps quasiment constantes mais leur ductilité et leur soudabilité ont été améliorées.

Les évolutions dans les années 1950 à 1970

Pendant la deuxième guerre mondiale, de nombreux bateaux soudés (principalement les Liberty Ships) se cassèrent littéralement en deux.

Des recherches furent entreprises pour expliquer les désordres et débouchèrent sur de nouvelles spécifications portant sur la limitation de la teneur en carbone (0,20 %), outre les limites sur les teneurs en soufre et phosphore. En sus, fut introduite une valeur minimale pour la résilience.

Après la seconde guerre mondiale, la soudure recommença à se développer à partir des années 1950 sur des ossatures en acier Martin de nuance A 42 S, acier posant beaucoup moins de problèmes que les aciers A 52 d'avant-guerre.

Le cahier des Charges des Ponts et Chaussées juste avant sa modification en 1958 visait les aciers Ac 42 et Ac 54. Après 1958, le nouveau Cahier des Charges visait les aciers A 42 et A 52 pour la construction rivée et les aciers A 42 S (qualités 2, 3 et 4 qui devinrent ensuite 21, 31 et 41) et A 52 S (qualités α, β et γ) pour la construction soudée.

Les dispositions réglementaires d'homologation des produits métalliques pour les ponts limitaient l'épaisseur maximale des tôles à 50 mm, la largeur des membrures des poutres ne dépassait pas 600 à 700 mm et il y avait jusqu'à 5 tôles superposées ce qui compliquait de façon importante les jonctions soudées. Par voie de conséquence, il fallait aussi multiplier le nombre des poutres.

Dans la période 1960-1970, apparaissent :

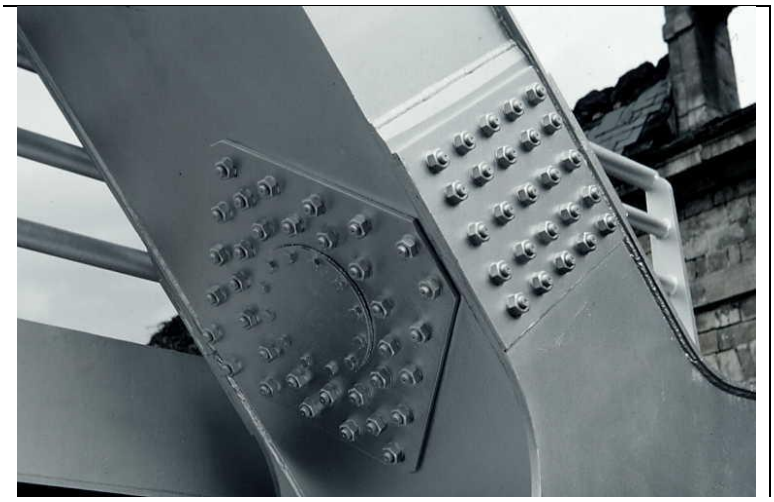
- les aciers dits à haute limite élastique (HLE) avec des épaisseurs de tôles jusqu'à 150 mm (E 355, E 390, E 420 et E 460) ;
- les aciers à résistance améliorée vis-à-vis de la corrosion ou aciers autopatinables (par exemple aciers Corten et Indaten) ;
- la prise en compte de la résistance améliorée vis-à-vis des risques d'arrachement lamellaire en cas d'effort de traction perpendiculaire à la tôle.

Les assemblages

Les caractéristiques des organes d'assemblage des pièces métalliques que sont les rivets et les boulons HR (à serrage contrôlé) étaient début 1960 les suivantes :

- rivets : A 37 R et A 42 R suivant la nuance de l'acier de charpente ;
- boulons HR : des classes 8.8 et 10.9.

Assemblages rivés au pont de Rangiport



Assemblage par boulons à serrage contrôlé

Même si la soudure voit le jour aux débuts du XX^{e} siècle, les assemblages des ossatures en acier ont été réalisés par des rivets jusque vers les années 1950 - 1960 (avant la deuxième guerre mondiale, certains ponts ont été assemblés par soudure, par exemple, les ponts de Neuilly et de Saint-Cloud en acier A 54 sur la Seine près du quartier de La Défense). Ensuite pendant une bonne vingtaine d'années, la soudure en atelier a cohabité avec les boulons à serrage contrôlé (boulons dits HR pour haute-résistance) pour les assemblages sur chantier (par exemple, les viaducs de la Porte-de-Bercy sur le boulevard périphérique de Paris). Finalement, la soudure, sauf dans de rares exceptions, est depuis la règle en atelier comme sur le chantier.

Les aciers modernes (à partir des années 1970)

L'amélioration des procédés de sidérurgie, notamment les procédés à l'oxygène, a permis d'obtenir des aciers de meilleure qualité pouvant être plus facilement soudables.

Les nuances des aciers modernes sont désignées par leur limite élastique. Les nuances les plus utilisées sont le E36 et le E355, qui sont renommées : S355 K2+N et S355N à la faveur de l'harmonisation européenne.

Les qualités des aciers modernes utilisés étaient à l'origine dénommées R et FP2. Ces qualités correspondaient respectivement à des garanties de 60 joules à 0 °C et 50 joules à –40 °C. Ces niveaux de résilience ont évolué à l'occasion de l'harmonisation européenne vers les qualités N (40 joules à –20 °C) et NL (27 joules à –50 °C). Les principales caractéristiques sont :

- limite élastique σ_e = 355 à 460 ;
- résistance à la traction σ_r = 470 à 540 MPa ;
- allongement A = plus de 20 % ;

- ténacité : importante à très importante (les aciers à grains fins atteignent facilement plus de 100 joules à –20 °C) ;

- soudabilité : les aciers modernes sont plus aisément soudables que les aciers anciens. Les aciers thermomécaniques sont par ailleurs plus facilement soudables que les aciers normalisés à caractéristiques mécaniques équivalentes.

Nota : Les valeurs garanties des limites élastiques et résistances mécaniques diminuent avec l'épaisseur du produit.

Des utilisations inappropriées de l'acier autopatinable dans des bâtiments et des équipements de la route (corrosion de la peau métallique de la tour du carrefour Playel à Saint-Denis construite en 1972 et qui dû être rénovée en 1987, corrosion des glissières de sécurité de l'autoroute A4, corrosion de la couverture de l'autoroute A 6 B qui a été démontée en janvier 2001…) ainsi que l'amélioration de la durabilité des peintures ont limité fortement l'usage de ces aciers en France jusqu'au début des années 2000.

La circulaire de la Direction des Routes du 23 septembre 1985 en limita fortement l'usage. Le Cerema a mis à jour cette circulaire en publiant en avril 2015 une Note d'Information Série Ouvrages d'Art Note n°02 "Aciers autopatinables - Recommandations pour leur utilisation en structure des ponts et passerelles" qui détaille les préconisations de conception, de mise en œuvre ainsi que d'inspection de ces ouvrages.

Dans les années 1980 apparaissent :

- les premières tôles d'épaisseur variable avec une pente de l'ordre de 3 mm/m qui passera à 4 mm/m quelques années plus tard. Elles permettent à la fois de réduire le poids de charpente et le nombre des soudures. Elles existent en forme de coin, de chapeau chinois et de chapeau de gendarme. Elles furent utilisées pour la première fois au pont de Joigny-sur-Meuse ;
- les tôles de forte épaisseur qui ont permis de simplifier les coupes transversales des tabliers des ponts. Les ponts bipoutres ont remplacé les ponts à poutres multiples dans la majorité des cas ;
- les aciers thermomécaniques qui sont obtenus par une température de fin de laminage plus faible que celle des aciers normalisés permettant la production, à caractéristiques mécaniques identiques, d'un acier avec moins d'éléments d'alliage, donc plus facilement soudable[2].

Assemblage soudé des années 1970 au pont Guillaume le Conquérant à Rouen

[2] Le nouveau pont de Remoulins - Premier ouvrage en acier thermomécanique – Bulletin de l'OTUA n° 17 de 1994.

Soudure de tôles de forte épaisseur des années 1990 au Pont de Nevers

Tableau des caractéristiques des aciers laminés pour construction métallique des années 1950 à la normalisation

Le tableau suivant donne les références des différents textes relatifs aux caractéristiques mécaniques des différents aciers de construction depuis les années 1950 jusqu'au début de la normalisation. Pour les années antérieures, ces renseignements figurent dans le corps du présent texte ci-devant.

Numéro	Texte officiel et Date	Titre	Appellation des aciers - Observations
1	Circulaire n°3 3 du 8 avril 1958	Approbation du Cahier des Prescriptions Communes (CPC)	**Aciers** : Ac 42 Ac 52
2	Circulaire n°84 du 25 novembre 1962 – Fascicule spécial n° 63-1 bis	Annulation des articles 30 et 30 bis du CPC de 1958	**Aciers :** A 42, A 52, A42 S 21/31/41, A 52 S $\alpha/\beta/\gamma$
3	Décret n°65-768 du 7 septembre 1965 et circulaire n°66 du 4 octobre 1966 – Fascicule spécial n°66-19 ter	Titre III du Fascicule 4 du CPC	**Aciers :** A 42, A 52, A 42 S 3/3/4, A 52 S $\alpha/\beta/\gamma$
4	Circulaire 70-69 du 22 juillet 1970	Relative à la vérification du contrôle en usine	
5	Circulaire n°71-86 du 11 août 1971	Les modalité de vérification du contrôle en usine des aciers soudables .	
6	Décret 75-777 du 24 juillet 1975 et circulaire n° 75-128 du 28 août 1975 – BO 75-68 bis	Titre III du fascicule 4 du CPC	Premier texte faisant références aux normes. Aciers de construction d'usage général : E 24 à E 36 des qualités 1 à 4. Aciers soudables à haute limite élastique : E 355 à E 460.

Tableau synthétique des nuances d'acier utilisées dans la construction des ouvrages d'art

Date d'apparition	**1891**	**1913**	**1962**	**2005**
Fonte	Fonte (Re 50MPa environ)			
Fer puddlé		Fer puddlés (Re variable de 250 à 340MPa)		
Epaisseurs maximales				

Textes de référence	**Règlement de 1891 (ferroviaire)**	**CCG de 1913**	**Annexe au CCG de 1913**	**F4TIII**	**NFA35-501**	**NFEN10025**	**NFEN10025-2**
	Aciers laminés (Re variable > 137MPa)	Aciers laminés (Re variable >		A42	E24	S235	
					E26		
					E30		
			Ac54	A52	E36	S355	
Epaisseurs maximales	60mm			50mm	150mm	250mm	400mm

Textes de référence	**NFA35-502**	**NFEN10155**	**NFEN10025-5**
Aciers autopatinables	E24W	S235W	
Epaisseurs maximales	E36W	S355W	
		100mm	150mm

Textes de référence	**NFA36-201**	**NFEN10113-2**	**NFEN10025-3**
	E355	S355N	
	E420	S420N	
	E460	S460N	
Epaisseurs maximales	50mm	100 à 150mm*	200 à 250mm

Textes de référence	**NFEN10113-3**	**NFEN10025-4**
	S355M	
	S420M	
	S460M	
Epaisseurs maximales	63mm	120mm

* : suivant nuance

Note 1 : Le tableau vise seulement à renseigner sur les nuances disponibles selon la période. Aussi tous les textes et leurs différentes versions ne sont pas indiqués dans ce document

Note 2 : Les valeurs en noirs sont les données des normes ; les valeurs grises sont des valeurs pratiques

Note 3 : Dénomination des aciers : Ac et A sont suivies de la résistance à la traction exprimée en kgf/mm² ; E est suivie de la limite élastique en kgf/mm² ; et S de la limite élastique en MPa

Tableau de la limite d'élasticité des aciers utilisés dans la construction des ouvrages d'art

Hors capacité des outils de production de l'époque Epaisseurs non disponibles dans la norme

			Re (MPa)															
		Epaisseur (mm)	5<e≤16	16<e≤25	25<e≤30	30<e≤35	35<e≤40	40<e≤50	50<e≤60	60<e≤63	63<e≤70	70<e≤80	80<e≤100	100<e≤110	110<e≤120	120<e≤150	150<e≤200	200<e≤250	250<e≤400
		Fer puddlé																	
		Aciers laminés	137 sans mention d'épaisseur maximale																
1913	CCG	Aciers laminés	235 sans mention d'épaisseur maximale																
1933	CCG (annexe CCG 1913)	Ac54	353 sans mention d'épaisseur maximale																
		Ac42	**235**																
		Ac54	**353**																
		A42R	**235**																
		A42S	**235**	**226**			**216**												
		A52R	**353**	**343**			**334**												
		A52S	**353**	**343**			**334**												
		E24																	
		E26																	
		E30																	
		E36A																	
		E36B																	
		E24	**235**			**215**			**205**				**195**		**185**				
		E26	**255**			**235**			**225**				**215**		**205**				
		E30*	**295**			**275**			**265**				**255**		**245**				
		E36	**355**			**335**			**335**				**315**		**305**				
		E355	**355**		**345**		**335**		**325**			**305**							
		E460	**460**		**450**		**440**												
	NFA36-201	E355																	
	NFA35-502	E36W																	
		E24																	
		E28																	
		E36																	
		E24	**235**			**215**			**205**				**195**		**185**				
		E28	**275**			**255**			**245**				**235**		**225**				
		E36	**355**		**345**				**335**				**315**		**305**				
		E355	**355**		**345**		**335**		**335**				**325**		**315**				
		E420	**420**		**410**		**400**		**380**				**370**						
		E460	**460**		**450**		**440**		**420**				**410**						
	NFA35-502	E36WB	**355**		**345**				**335**				**315**						
		S235J0 ou J2	**235**		**225**				**215**					**195**			**185**	**175**	
		S275J0 ou J2	**275**		**265**				**255**		**245**		**235**	**225**			**215**	**205**	
		S355K2	**355**		**345**				**335**		**325**		**315**	**295**			**285**	**275**	
		S355N	**355**		**345**				**335**		**325**		**315**	**295**					
		S420N	**420**		**400**				**390**		**370**		**360**	**340**					
		S460N	**460**		**440**				**430**		**410**		**400**						
		S355M	**355**		**345**				**335**										
		S420M	**420**		**400**				**390**										
		S460M	**460**		**440**				**430**										
		S235WJ0 ou J2	**235**		**225**				**215**										
		S355WK2	**355**		**345**				**335**		**325**		**315**						
		S235J0 ou J2	**235**		**225**				**215**					**195**			**185**	175	165 (J2)
		S275J0 ou J2	**275**		**265**				**255**		**245**		**235**	**225**			1215	205	195 (J2)
		S355K2	**355**		**345**				**335**		**325**		**315**	**295**			265	275	265
		S355N	**355**		**345**				**335**		**325**		**315**	**295**			**285**	275	
		S420N	**420**		**400**				**390**		**370**		**360**	**340**			**330**	320	
		S460N	**460**		**440**				**430**		**410**		**400**	**380**			**370**		
		S355M	**355**										**325**	**320**					
		S420M	**420**										**370**	**365**					
		S460M	**460**										**400**	**385**					
		S235WJ0 ou J2	**235**		**225**				**215**					**195**					
		S355WK2	**355**		**345**				**335**		**325**		**315**	**295**					

* : Excepté pour la qualité 2 : pour celle-ci il faut enlever 20 MPa à la valeur du tableau

Tableau de la résistance en traction des aciers utilisés dans la construction des ouvrages d'art

Hors capacité des outils de production de l'époque Epaisseurs non disponibles dans la norme

			Rm (Mpa) (L : longitudinal / T : transversal)													
		Epaisseur (mm)	**5<e≤16**	**16<e≤30**	**30<e≤40**	**40<e≤50**	**50<e≤60**	**60<e≤63**	**63<e≤70**	**70<e≤80**	**80<e≤100**	**100<e≤110**	**110<e≤120**	**120<e≤150**	**150<e≤200**	**200<e≤250**	**250<e≤400**
		Fer puddlé	≥ 314 (L), ≥ 275 (T), pas de mention d'épaisseur max														
		Aciers laminés	≥ 412, pas de mention d'épaisseur max														
1913	CCG	Aciers laminés	≥ 412, pas de mention d'épaisseur max														
1933	CCG (annexe CCG 1913)	Ac54	530-630, pas de mention d'épaisseur max														
		Ac42	412-490														
		Ac54	530-618														
		A42R	412-490														
		A42S	412-490	392-490													
		A52R	510-628	490-608													
		A52S	510-628	490-608		490-588											
		E24															
		E26															
		E30															
		E36A															
		E36B															
		E24	360-440														
		E26	410-490														
		E30*	460-560														
		E36	510-610														
		E355	510-610				**490-610**			480-600							
		E460	590-710														
	NFA36-201	E355															
	NFA35-502	E36W															
		E24															
		E28															
		E36															
		E24	340-460														
		E28	400-540														
		E36	490-630														
		E355	490-610									**480-600**					
		E420	530-670								520-650						
		E460	570-710								560-700						
	NFA35-502	E36WB	480-580				≥ 480										
		S235J0 ou J2	340-470												**320-470**		
		S275J0 ou J2	410-560									**400-540**			**380-540**		
		S355K2	490-630									**470-630**			**450-630**		
		S355N	470-630									450-600					
		S420N	520-680									500-660					
		S460N	550-720														
		S355M	450-610														
		S420M	500-660														
		S460M	530-720														
		S235WJ0 ou J2	**340-470**														
		S355WK2	490-630														
		S235J0 ou J2	360-510									350-500			340-490		330-480 (J2
		S275J0 ou J2	430-580									400-540			380-540		380-540 (J2)
		S355K2	510-680									450-600			405-600		450-600 (J2)
		S355N	470-630										450-600				
		S420N	520-680										500-650				
		S460N	540-720										**530-710**				
		S355M	**470-630**			450-610		440-600				**430-590**					
		S420M	**520-680**			500-660		480-640			470-630	**460-620**					
		S460M	**540-720**			530-710		510-690			500-680	490-660					
		S235WJ0 ou J2	360-510									**350-500**					
		S355WK2	470-630									**450-600**					

Tableau de l'allongement à la rupture des aciers utilisés dans la construction des ouvrages d'art

Hors capacité des outils de production de l'époque Epaisseurs non disponibles dans la norme

		Epaisseur (mm)	5<e≤16	16<e<20	20≤e≤30	30<e≤40	40<e≤50	50<e≤60	60<e≤63	63<e≤70	70<e≤80	80<e≤100	100<e≤110	110<e≤120	120<e≤150	150<e≤200	200<e≤250	250<e≤400
		Fer puddlé	8 (L) et 35 (T															
		Aciers laminés	22 sans mention d'épaisseur maximale															
1913	CCG	Aciers laminés	25 sans mention d'épaisseur maximale															
1933	CCG (annexe CCG 1913)	Ac54	20 sans mention d'épaisseur maximale															
		Ac42	25 (L) et 23 (T)		24 (L) et 20 à 22 (T) **													
		Ac54	20 (L) et 16 à 18 (T) **															
		A42R	**27**		**26**		**25**											
		A42S	**30**		**27**		**25**											
		A52R	**22**		**21**		**20**											
		A52S	**24**		**22**		**20**											
		E24																
		E26																
		E30																
		E36A																
		E36B																
		E24	24 à 28 ***			23 à 27 ***			24 à 26 ***			23 à 25 ***		20 à 23 ***				
		E26	21 à 27 ***			20 à 25 ***			21 à 24 ***			20 à 23 ***		17 à 21 ***				
		E30*	21 à 23 ***			**20 à 22 *** **			19 à 21 ***			18 à 20 ***		15 à 18 ***				
		E36	20 à 22 ***			**19 à 21 *** **			18 à 20 ***			17 à 19 ***		14 à 17 ***				
		E355				**22**					**21**							
		E460			**17**													
	NFA36-201	E355																
	NFA35-502	E36W																
		E24																
		E28																
		E36																
		E24	26à28 ***			25à27 ***			24à26 ***			23à25 ***		20à23 ***				
		E28	22à25 ***			21à23 ***			20à22 ***			19à21 ***		16à19 ***				
		E36	20à22 ***			19à21 ***			18à20 ***			17à19 ***		15à17 ***				
		E355					**22**						**21**					
		E420					**19**					**18**						
		E460					**17**					**16**						
	NFA35-502	E36WB	20à22 ***			19à21 ***			18à20 ***			17à19 ***						
		S235J0 ou J2	26L-24T				25L-23T			24L-22T			22			21		
		S275J0 ou J2	22L-20T				21L-19T			20L-18T			18			17		
		S355K2	22L-20T				21L-19T			20L-18T			18			17		
		S355N							**22**									
		S420N							**19**									
		S460N							**17**									
		S355M	22															
		S420M	19															
		S460M	17															
		S235WJ0 ou J2	26L-24T				25L-23T			24L-22T								
		S355WK2	22L-20T				21L-19T			20L-18T								
		S235J0 ou J2	26L-24T				25L-23T			24L-22T			22			21		21
		S275J0 ou J2	23L-21T				22L-20T			21L-19T			19			18		18
		S355K2	22L-20T				21L-19T			20L-18T			18			17		17
		S355N	22							**21**								
		S420N	19							**18**								
		S460N	17							**16**								
		S355M	22															
		S420M	19															
		S460M	17															
		S235WJ0 ou J2	26L-24T				25L-23T			24L-22T			22					
		S355WK2	22L-20T				21L-19T			20L-18T			18					

** : suivant le procédé d'élaboration. La valeur la plus faible correspond au procédé Thomas et la valeur la plus importante au procédé Martin

*** : suivant la qualité de l'acier. La valeur la plus grande correspond à la qualité 4

Tableau des caractéristiques des organes d'assemblages pour construction métallique des années 1950 à la normalisation

Le tableau suivant donne les références des différents textes relatifs aux caractéristiques mécaniques des organes d'assemblage pour construction métallique après les années 1950 jusqu'à la normalisation.

Numéro	Texte officiel et date	Titre	Observations
1	Avant 1958		Rivets pour les aciers A_C 42 et A_C 52
2	Circulaire n°3 3 du 8 avril 1958	Approbation du Cahier des Prescriptions Communes (CPC)	Rivets R.38 pour les aciers A42. Rivets R.42 pour les aciers A52. Utilisation des clauses de la SNCF pour les boulons à haute résistance (HR)
3	Circulaire n°58 du 14 septembre 1967	Titre IV du fascicule 4 : Rivets en acier – Boulons à haute résistance	Rivets A 37 R et A 42 R. Boulons à haute résistance HR 8.8 et HR 10.9
4	Décret n° 83-251 du 29 mars 1983	Titre IV du fascicule 4 : Rivets en acier et boulonnerie à serrage contrôlé	Référence aux normes. Rivets : NF E 27.005 NF E 27.156. Boulons à serrage contrôlé : NF E 27.701, 702, 703 et 711.

2 - Historique des profilés pour construction métallique

Nous restituons ici le résumé de l'article "Profilés métalliques anciens - Données sur la géométrie" de Pierre Trouillet, Jean Schwartz et Robert Jolliot paru dans le Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 157 de septembre - octobre 1988. Pour de plus amples informations le lecteur est invité à se reporter à cet article.

"En matière de structures anciennes, l'ingénieur a souvent affaire à des profilés métalliques dont les caractéristiques sont inconnues car elles ne relèvent pas des normes actuelles. L'historique de fabrication des profilés en I ou H montre que ceux-ci peuvent être aussi bien en acier qu'en fer. De même, on montre que l'évolution des conditions de laminage justifie l'évolution des formes des profilés, depuis « l'os de chien » jusqu'au « H » actuel. Le nombre de types de profilés ainsi que le nombre d'appellations correspondantes sont très grands, et une même appellation peut s'appliquer à des types différents. Cela rend complexe la reconnaissance de la géométrie d'un profilé dont une seule membrure est accessible (cas des ossatures enrobées). Pour résoudre ce problème, des critères de reconnaissances sont présentés, à l'aide d'une base de données constituées de 42 catalogues de profilés anciens, permettant d'approcher les caractéristiques géométriques du profilé étudié."

Résumé

Ce document constitue une annexe électronique au guide Cerema de 2015

« Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art ».

Il traite de l'historique des métaux pour la construction métallique jusqu'au début des années 1980 avant la mise en application de la normalisation européenne et des Eurocodes.

Aménagement et développement des territoires, égalité des territoires - Villes et stratégies urbaines - Transition énergétique et changement climatique - Gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures - Habitat et bâtiment

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.

En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.
Référence : 1748w – ISRN : CEREMA-DtecITM-2017-048-1-FR

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Direction technique infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris, 77171 Sourdun - Tél. : +33 (0)1 60 52 31 31
Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public - Siret 130 018 310 00016 - www.cerema.fr