

PROBLÉMATIQUE

Au cours des cinq dernières années, quelques éléments structuraux des ponts métalliques du ministère des Transports du Québec (MTQ) se sont rompus brutalement. Bien que ces incidents n'aient pas fait de victime ni entraîné d'effondrement de structure, ils doivent être pris très au sérieux. Des problèmes similaires avaient été observés au milieu des années 1960 sur des structures maritimes construites avec de l'acier conforme à la norme ASTM A36. Des analyses avaient démontré que les ruptures étaient dues à la faible résilience de l'acier et à de mauvais cordons de soudure.

HISTORIQUE DE LA NORMALISATION

Jusqu'au début des années 1900, on utilisait de l'acier doux pour la fabrication des ponts, soit un acier ayant généralement une teneur en carbone inférieure à 0,10 %, sans élément d'alliage. La limite élastique se situait à environ 205 MPa. De 1901 à 1946, la norme de référence était l'ASTM A7 « Steel for Bridges and Buildings ». Il s'agissait d'un acier ayant une limite élastique de 225 MPa. À partir de 1933, l'acier « intempérique », dont l'acier Corten, a commencé à être utilisé aux États-Unis. La norme ASTM A7 prévoyait, à la demande du client, qu'une teneur en cuivre d'au moins 0,2 % pouvait être ajoutée à l'acier pour lui conférer une résistance à la corrosion atmosphérique, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter une peinture. De 1946 à 1960, la norme de référence était l'ASTM A283 « Low and Intermediate Tensile Strength Carbon Steel Plates ». L'acier devait conserver 225 MPa de limite élastique et respecter des spécifications sur les teneurs en silicium et manganèse, qui sont des désoxydants utilisés pour débarrasser l'acier d'une bonne partie de ses impuretés. En 1960, la norme ASTM A283 a été délaissée au profit de la norme ASTM A36 « Carbon Structural Steel », qui spécifiait une limite élastique de 250 MPa.

Des recherches fondamentales et appliquées ont été réalisées pour résoudre les problèmes de résilience et de soudabilité constatés dans les années 1960. En 1973, le comité AASHTO sur les ponts et structures proposait les premières spécifications relativement à la résilience Charpy. En 1974, apparaissait la norme américaine ASTM A709 « Carbon and High-Strength Low Alloy Structural Steel Plates, Bars and Quenched and Tempered Alloy Structural Steel Plates for Bridges ». Les normes canadiennes CAN/CSA-G40.21 « Structural Quality Steels » et CAN/CSA-G40.20 « General Requirements for Rolled or Welded Structural Quality Steel » étaient publiées en 1976 et en 1978.

CRITÈRES DE FABRICATION

Ces normes récentes ont permis d'améliorer la qualité de l'acier des ponts. Les concepteurs et les aciéries ont amélioré les méthodes de fabrication des plaques d'acier et les méthodes de soudage : acier complètement désoxydé et désulfuré par le contrôle du pourcentage de silicium, d'aluminium et de manganèse; coulage sous vide pour prévenir l'introduction d'oxygène atmosphérique; acier à grains fins obtenu par une procédure contrôlée de laminage et par l'addition de certains éléments d'alliage, tels l'aluminium et, dans une moindre mesure, le niobium, le vanadium, le columbium et le titane; ajout d'éléments d'alliage pour réduire la teneur en carbone tout en augmentant la résistance mécanique de l'acier pour lui conférer une résistance à la corrosion atmosphérique lorsque cela est requis, ainsi que pour améliorer la soudabilité et la ductilité.

TRAVAUX RÉALISÉS

Une investigation a été réalisée en 1995 sur les ponts métalliques à deux ou trois poutres construits avant 1950 susceptibles de présenter des problèmes à moyen terme; ce travail a été réalisé en collaboration avec la Direction des structures, les directions territoriales et le Service des matériaux d'infrastructures. Cette étude a conduit le MTQ à apporter des correctifs importants sur plusieurs ponts et, même, à effectuer des reconstructions. Une autre étude sur les propriétés de l'acier du pont de Bécancour, construit en 1939, a été réalisée en 1997 par l'École de Technologie Supérieure et le Service des matériaux d'infrastructures dans le but de confirmer les mauvaises performances de ce type d'acier aux basses températures. Plusieurs échantillons ont été prélevés depuis cinq ans sur les poutres principales de divers ponts, ce qui a permis d'établir des statistiques sur les propriétés de l'acier utilisé entre 1901 et 1960.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

La majorité des valeurs de résilience Charpy de ponts construits avant 1960 se situent entre 2 et 10 joules (tableau 1 et figure 1), alors que l'exigence à -20 °C pour les aciers actuels est au minimum de 20 ou 27 joules selon la nuance d'acier. La résilience Charpy est la propriété d'un matériau à résister aux chocs à basse température. La courbe de résilience Charpy pour l'acier du pont de Bécancour est présentée (figure 1) pour une des deux poutres principales qui s'est rompue complètement en 1995. À -20 °C, on obtient une valeur de 4 joules, ce qui est nettement inférieur à l'exigence. Cet acier était fragile aux températures habituelles de service.

Les analyses chimiques indiquent que les impuretés comme le soufre et le phosphore sont mal réparties dans l'acier (tableau 1). La teneur de ces éléments satisfait généralement les exigences en surface, mais elle est parfois hors norme à la mi-épaisseur de la plaque d'acier (* tableau 1). Les concentrations locales élevées de ces éléments affectent la soudabilité de l'acier. L'observation microscopique indique la présence d'inclusions de sulfures et d'oxydes, qui sont les principales causes d'une faible valeur de résilience.

Les résultats confirment que la mauvaise qualité d'acier et que des travaux de soudage déficients sont les deux causes principales de rupture des éléments structuraux des ponts construits avant 1960, voire avant 1978. Un mauvais profil de cordon de soudure, combiné à une mauvaise catégorie d'assemblage soudé, peut engendrer une concentration de contraintes et occasionner une fissure de fatigue après une période généralement supérieure à trente ans. L'expérience montre que les fissures s'amorcent toujours à partir d'une discontinuité de surface, telle qu'une soudure, une entaille de fabrication, un coup d'arc, etc. Une fois la fissure amorcée, sa propagation s'effectue sous l'effet des cycles de contraintes appliqués par le passage des camions lourds. Cette propagation de fissure peut être instable par temps froid lorsque l'acier montre une mauvaise résilience. Le profil des cordons de soudure ainsi que l'inspection avant et après soudage, ont été améliorés au fil des ans.

RESPONSABLE : Donald Villeneuve, ing.
Service des matériaux d'infrastructures

CONCLUSION

L'acier des ponts construits avant 1965 présente une faible résilience Charpy et de mauvais cordons de soudure. La résilience des ponts construits après 1978 devrait être conforme aux normes actuelles. Il est prévu d'effectuer un échantillonnage sur quelques ponts construits entre 1965 et 1978 pour évaluer la qualité des soudures et de l'acier utilisé durant cette période ainsi que pour situer le moment où elle a changé. Cette qualité d'acier, qui a servi à construire les ponts québécois avant 1978, doit faire l'objet d'une évaluation accrue.

RÉFÉRENCES

Masounave, J., 1998, « Comportement à la rupture et en fatigue de l'acier du pont de Bécancour », rapport soumis par l'École de Technologie Supérieure de Montréal au ministère des Transports du Québec, juin 1998.

Note : Divers rapports d'expertise réalisés par des spécialistes du ministère des Transports ont également servi à la rédaction du présent bulletin.

DIRECTEUR : 
Michel Labrie.ing.

Pont N°	Municipalité	Année de construction	Résilience à -20 °C (joules)	% Carbone		% Soufre		% Phosphore	
				Surface	Centre	Surface	Centre	Surface	Centre
P 06333	Richmond	1902	3	0,10	—	0,04	—	0,07	—
P 01372	Repentigny	1938	7	0,25	—	0,03	—	0,01	—
P 0523*	Bécancour	1939	4	0,17	0,23	0,03	0,05	0,01	0,01
P 04353*	Louiseville	1940	5	0,14	0,23	0,03	0,06	0,01	0,01
P 06764*	Beloeil	1942	4	0,17	0,24	0,03	0,07	0,01	0,01
P 07292	Saint-Hyacinthe	1942	4	0,22	0,23	0,03	0,03	0,01	0,03
P 03881*	Rosemère	1945	3	0,14	0,27	0,03	0,08	0,03	0,04
P 06945	Saint-Paul-du-Nord	1945	6	0,15	—	0,08	—	0,04	—
P 05424*	Buckingham	1946	3	0,13	0,20	0,03	0,07	0,02	0,03
P 06039J	Sureau	1947	6	0,20	0,20	0,03	0,03	0,02	0,02
P 02071	Saint-Eustache	1948	4	0,24	0,24	0,03	0,03	0,02	0,02
P 06756	Saint-Césaire	1948	5	0,24	0,29	0,03	0,03	0,01	0,01
P 06600	Dolbeau	1949	4	0,26	0,25	0,03	0,02	0,02	0,01
P 09727	Boisbriand	1958	4	0,27	—	0,03	—	0,01	—
P 13328	Roberval	1960	2	0,09	—	0,02	—	0,06	—

Tableau 1 : Caractéristiques des aciers de ponts construits entre 1902 et 1960

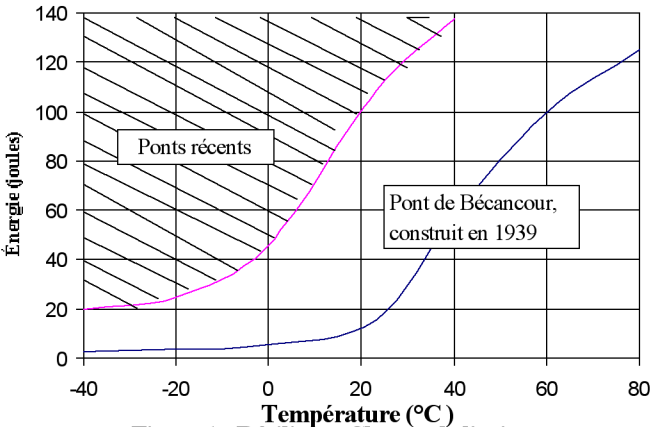


Figure 1 : Résilience Charpy de l'acier