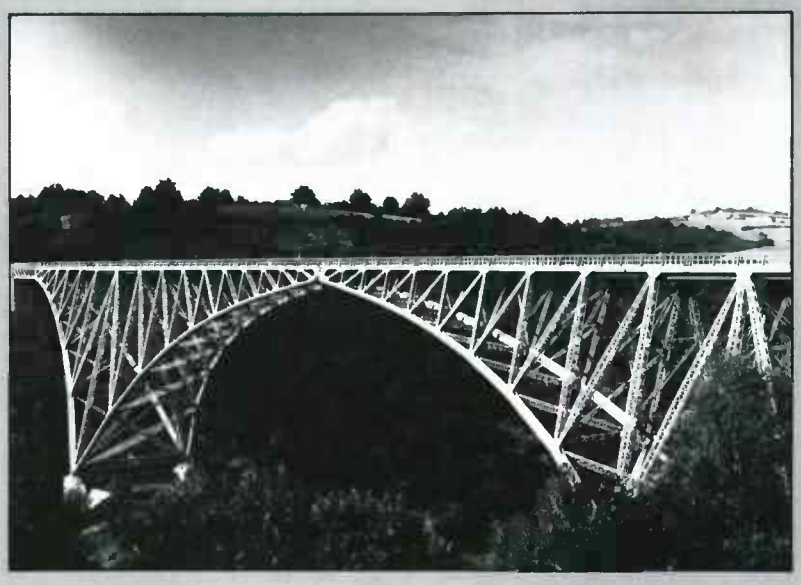
Ministère de l'Équipement, du Logement,
des Transports et de la Mer

instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art

FASCICULE **33**

DEUXIÈME PARTIE

Ponts métalliques
(acier, fer, fonte)



Direction des Routes

Page laissée blanche intentionnellement

Instruction technique du 19 octobre 1979

2e PARTIE

DISPOSITIONS PARTICULIERES

FASCICULE **33**

Ponts métalliques

(acier, fer, fonte)

Janvier 1990

Document diffusé par

le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, boulevard Lefebvre - 75732 PARIS CEDEX 15

Service IST-Publications
Tél. : (1) 40 43 52 26
- Télécopieur : (1) 40 43 54 98
- Télex : lcpari 200361 f

le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes
46, avenue Aristide Briand - 92223 BAGNEUX

Bureau de Vente :
Tél. : (1) 42 31 31 53 et (1) 42 31 31 55
- Télécopieur : (1) 42 31 31 69
- Télex : 260763 SETRA BAGNX

AVERTISSEMENT

Le présent document est l'un des fascicules dont l'ensemble constitue la deuxième partie de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979. La liste de ces fascicules est la suivante :

Fasc. 01. Dossiers d'ouvrage.

Fasc. 02. Généralités de la surveillance.

Fasc. 03. Mesures de sécurité - Auscultation - Surveillance renforcée - Haute surveillance.

Fasc. 04. Surveillance topométrique.

Fasc. 10. Fondations en site aquatique.

Fasc. 11. Fondations en site terrestre.

Fasc. 12. Appuis.

Fasc. 13. Appareils d'appui.

Fasc. 20. Zone d'influence - Accès - Abords.

Fasc. 21. Équipements des ouvrages (protection contre les eaux - revêtements - joints de chaussée et de trottoirs - garde-corps - dispositifs de retenue).

Fasc. 30. Ponts et viaducs en maçonnerie.

Fasc. 31. Ponts en béton non armé et en béton armé.

Fasc. 32. Ponts en béton précontraint.

Fasc. 33. Ponts métalliques (acier, fer, fonte).

Fasc. 34. Ponts suspendus et ponts à haubans.

Fasc. 35. Ponts de secours.

Fasc. 36. Ponts mobiles.

Fasc. 37. Ponts en bois.

Fasc. 38. Ponts en alliage léger.

Fasc. 40. Tunnels, tranchées couvertes, galeries de protection.

Fasc. 50. Buses métalliques.

Fasc. 51. Ouvrages de soutènement.

Fasc. 52. Déblais et remblais.

Fasc. 53. Ouvrages de protection.

Cet ensemble de fascicules est élaboré, au sein du groupe chargé — sous la présidence de M. André MOGARAY, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, coordonnateur de la mission spécialisée d'inspection générale des ouvrages d'art — de l'étude de la politique générale de surveillance et d'entretien des ouvrages d'art, par un groupe de travail dans lequel sont représentés :

— Les Directions départementales de l'Équipement de l'Ain, des Alpes de Haute-Provence, du Gard, de la Moselle et du Nord.

— Les Centres d'études techniques de l'Équipement d'Aix-en-Provence, de Bordeaux, de Lille, de Lyon et de Rouen.

— Le Laboratoire central des Ponts et Chaussées.

— Le Service d'études techniques des routes et autoroutes.

— Le Centre d'études des tunnels.

— Le Service central technique des ports maritimes et des voies navigables.

— Le Centre national des ponts de secours.

— Le Service du contrôle des autoroutes concédées.

— La Direction générale des collectivités locales du ministère de l'Intérieur.

Le rapporteur du présent fascicule 33 *(Ponts métalliques)* **est J.-P. Gourmelon**, Chef de la division Construction métallique et câbles du LCPC.

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 – Champ d'application 7

CHAPITRE 2 – Généralités 7

2.1 – Matériau constitutif 7

2.1.1 – La fonte 7
2.1.2 – Le fer 7
2.1.3 – Le fer puddlé 8
2.1.4 – L'acier 8

2.2 – Modes d'assemblage 9

2.2.1 – Assemblage des ouvrages en fonte 10
2.2.2 – Le rivetage 10
2.2.3 – Les assemblages par boulons HR (ou à serrage contrôlé) 11
2.2.4 – Le soudage 11

2.3 – Types de structures 12

2.3.1 – Piles et pylônes 12
2.3.2 – Ossatures porteuses 12
2.3.3 – Couvertures 14
2.3.4 – Ossatures mixtes 15

CHAPITRE 3 – Notions sur les causes et la nature des désordres 16

3.1 – La corrosion 16

3.1.1 – Mécanisme de la corrosion 16
3.1.2 – Diverses formes de la corrosion 17
3.1.3 – Localisation des désordres 18

3.2 – La fatigue 18

3.2.1 – Mécanisme de rupture par fatigue 18
3.2.2 – Localisation des désordres 19

3.3 – Cas des ponts en fonte 20

3.4 – Autres types de désordres 20

3.5 – Désordres affectant les couvertures 21

3.5.1 – Couvertures en bois 21
3.5.2 – Couvertures en voûtains 21
3.5.3 – Couvertures en béton 22
3.5.4 – Ossatures mixtes 22
3.5.5 – Couvertures métalliques 23

CHAPITRE 4 – Surveillance 24

4.1 – Généralités sur la surveillance 24

4.2 – Surveillance continue 24

4.3 – Visite annuelle 24

4.4 – Inspection détaillée 25

CHAPITRE 5 – Entretien et réparation 26

5.1– Entretien courant 26

5.2 – Entretien spécialisé 26

5.2.1 – Opérations de remise en peinture 26
5.2.2 – Réfection des couches de roulement et des chapes d'étanchéité . . 27
5.2.3 – Remplacement de rivets et de boulons 27

5.3 – Réparations 28

5.3.1 – Réfection d'assemblages boulonnés ou rivés 28
5.3.2 – Réparations par soudage 28
5.3.3 – Reconstitution ou remplacement de pièces 30
5.3.4 – Réparation des couvertures métalliques 30

ANNEXE 1 – Documentation. Bibliographie 31

ANNEXE 2 – Modèle de document signalétique 32

ANNEXE 3 – Modèle de procès-verbal de visite annuelle 35

ANNEXE 4 – Cadre de procès-verbal d'inspection détaillée périodique 38

Page laissée blanche intentionnellement

CHAPITRE 1

Champ d'application

Les dispositions du présent fascicule ne concernent que les ossatures dont le matériau constitutif est principalement la fonte, le fer puddlé, ou l'acier, à l'exclusion des alliages légers, et s'appliquent aux ossatures métalliques entrant dans la constitution des ouvrages suivants :

- ponts métalliques, fixes ou mobiles, définitifs ou provisoires,
- ponts suspendus ou à haubans,
- ponts de secours.

Des dispositions complémentaires spécifiques aux ponts suspendus ou à haubans et aux ponts de secours font respectivement l'objet des fascicules 34 et 35.

CHAPITRE 2

Généralités

2.1 – MATÉRIAU CONSTITUTIF

Le matériau constitutif des ossatures métalliques peut être la fonte, exceptionnellement le fer pur ou peu allié, fondu ou forgé, essentiellement le fer puddlé puis l'acier.

2.1.1 – La fonte

Les ouvrages en fonte datent, pour la plupart, du XIXe siècle ; le matériau qui les constitue, présente, du fait de sa structure et de sa teneur relativement forte en impuretés, des caractéristiques mécaniques très médiocres:

– limite d'élasticité σ_e : 50 à 100 MPa
– résistance à la traction σ_r : 100 à 150 MPa
– allongement à la rupture A : 1 à 8% dans les meilleurs cas.

Autant dire que la résistance à la traction et l'allongement à la rupture peuvent être considérés comme négligeables. La fonte est un matériau fragile et non soudable. En revanche, sa résistance à la compression peut être évaluée à 500 à 700 MPa ; elle présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre par moulage et d'être très peu sensible à la corrosion.

2.1.2 – Le fer

Le fer est un matériau dont les caractéristiques mécaniques sont peu élevées :

$$\sigma_e = 180 \text{ MPa}$$
$$\sigma_r = 240 \text{ MPa}$$

mais qui présente l'avantage de posséder un grand palier plastique $A = 30\%$.

Matériau peu sensible à la corrosion, on ne le rencontre pas sous forme laminée, mais sous forme fondue (comme la fonte) ou forgée.

Très peu utilisé dans les pièces principales de charpente, il fut plutôt employé pour des pièces secondaires (tirants, organes d'assemblage).

2.1.3 – Le fer puddlé

Forme primitive de l'acier, produit d'affinage de la fonte, le fer puddlé est un matériau hétérogène présentant une structure grossière en bandes alternées de ferrite et d'oxydes divers ; ce résultat était obtenu par affinage au four à l'aide d'une scorie, accompagné d'un brassage, suivi d'un cinglage destiné à expulser les oxydes, puis d'un corroyage.

Ce mode de fabrication entraînant une concentration variable d'oxydes, le fer puddlé présente des caractéristiques dispersées ; plus la concentration d'oxydes est élevée, plus la contrainte de rupture est proche de la limite d'élasticité et plus l'allongement à la rupture est faible. C'est le cas des plus mauvais fers puddlés dont la structure est la plus feuilletée, ce qui les rend plus sensibles à la corrosion et pratiquement non soudables. En revanche, les meilleurs fers puddlés sont assez voisins des aciers doux actuels et peuvent être soudés.

A titre indicatif, les valeurs suivantes des caractéristiques mécaniques peuvent être données :

σ_e : 250 à 340 MPa
σ_r : 320 à 400 MPa
A : 5 à 30% dans le sens longitudinal
nul dans le sens transversal.

2.1.4 – L'acier

Matériau évolué par rapport au fer puddlé, l'acier constitue, sans partage, l'ossature des ponts métalliques modernes ; mais si l'on veut couvrir l'ensemble des ponts en acier, on devrait plutôt parler "des aciers" tant est grande la différence entre un acier Thomas de 1880 et un acier à haute limite d'élasticité de 1980. Le premier présente une limite d'élasticité de 290 à 330 MPa et une résistance à la traction de 450 à 500 MPa ; pour le second, les valeurs respectives peuvent atteindre 460 et 710 MPa. Par ailleurs, les aciers du siècle dernier présentaient une dispersion relative de ces valeurs de caractéristiques mécaniques, dispersion qui a été réduite grâce à l'amélioration de la régularité des fabrications.

Sur le plan de l'utilisation, l'acier le plus couramment rencontré dans les ouvrages anciens est l'acier dit A 42 (désignation normalisée E 26), dont la limite d'élasticité est supérieure ou égale à 225 MPa.

Sur le plan réglementaire, le tableau I précise les époques auxquelles ces divers matériaux ont été pris en compte dans les règlements de calcul et leurs conditions d'utilisation.

Sur le plan pratique, il est possible de distinguer, à titre indicatif, les périodes suivantes :

– du début du XIXe siècle à 1850 environ, la fonte constitue les parties principales des ouvrages métalliques, les organes d'assemblage étant en fer forgé ;

– de 1850 à 1920 environ, le fer puddlé fait son apparition et connaît tout de suite un développement rapide ; l'acier fait son apparition vers 1880-1890, et pendant près de trente-cinq ans, il y a coexistence des trois matériaux, fonte, fer et acier que les constructeurs ne se privent pas d'utiliser simultanément, parfois dans un même ouvrage ;

– de 1920 à 1930 environ, le fer puddlé a pratiquement disparu et est remplacé par l'acier doux, de caractéristiques légèrement inférieures à celles de l'acier E 24 actuel ;

– de 1930 à 1939 environ, l'acier doux reste le matériau dominant, mais l'on voit apparaître les premiers aciers à plus haute limite d'élasticité (type Ac 54), qui ont l'inconvénient de présenter des niveaux de résilience très bas, d'être peu soudables et souvent sensibles aux effets d'entailles ;

TABLEAU I

	FONTE				FER	ACIER
	T	C	TF	CF	T/C	T/C
Règlement du 15 juin 1869	1	5			6	
Règlement du 9 juillet 1877	1,5	5	3	5	6	
Règlement du 29 août 1891	1,5	6	2,5	6	6,5 ou 8,5	8,5 ou 11,5
Règlement du 8 janvier 1915	0	7 ou 6,5	0	7 ou 6,5		8 à 13,5
Règlement du 10 mai 1927						13 ou 14
Circulaire du 7 février 1933		7 ou 8	1,5		Ac 42 Ac 54	13 ou 14 18 ou 19
Règlement du 19 août 1960	Traction Compression				3/4 N 2/3 N	

T : Traction simple
TF : Traction par flexion
N : Limite d'élasticité
C : Compression simple
CF: Compression par flexion
Contraintes exprimées en kg/mm^2

– de 1940 à 1950 environ, période dominée par la deuxième guerre mondiale, on utilise à peu près n'importe quoi pour reconstruire les ouvrages détruits et il n'est pas rare que plusieurs nuances d'aciers, d'origines diverses, soient utilisées sur un même ouvrage ;

– de 1950 à 1960 environ, l'acier Ac 42 (E 26) est principalement utilisé ; on note, cependant, un certain nombre d'ouvrages où des aciers de type Ac 54 au cuivre ont été mis en œuvre. Tous ces aciers présentent une garantie de résilience à 20°C ;

– de 1960 à 1970 environ, coexistence des E 26 et E 36, ce dernier tendant progressivement à dominer le marché ;

– à partir de 1970, apparition d'aciers à haute limite d'élasticité (E 460 par exemple), ayant fait l'objet d'utilisations sur un très petit nombre d'ouvrages.

2.2 – MODES D'ASSEMBLAGE

Historiquement, l'évolution des modes d'assemblage suit celle des matériaux utilisés et de leurs caractéristiques. C'est ainsi que les éléments en fonte, de même que les éléments secondaires en fer forgé, font l'objet d'assemblages de type mécanique ou par boulonnage. Les ouvrages en fer puddlé mettent en œuvre des plats, tôles, et profilés de formes diverses, le tout étant assemblé par rivetage.

L'apparition de l'acier ne modifie guère la situation et le mode d'assemblage privilégié reste le rivetage ; en effet, il faudra attendre la fin de la deuxième guerre mondiale pour que la soudure soit généralisée comme mode d'assemblage principal en atelier, puis plus tard sur chantier.

Enfin, vers 1965 apparaît un nouveau type de joint : l'assemblage par boulons à haute résistance, lointain cousin de l'assemblage rivé auquel il ressemble, mais dont le mode de fonctionnement est fondamentalement différent.

2.2.1 – Assemblage des ouvrages en fonte

La fonte se prête bien au moulage, donc à la réalisation de formes complexes ; par ailleurs, elle est utilisée essentiellement en compression. Les divers éléments peuvent donc être ajustés les uns aux autres et n'être reliés que par des organes de maintien supportant peu d'efforts. On trouve ainsi, dans les ouvrages d'art, des joints du type tenon et mortaise, languette et rainure, clavette et logement qui sont classiques dans la construction mécanique. Les voussoirs peuvent comporter des nervures servant à les assembler les uns aux autres au moyen de boulons. Ces mêmes boulons peuvent également servir d'axes pour la fixation des pièces de contreventement ou des tirants en fer forgé, du type "barres à l'œil" (fig.1).

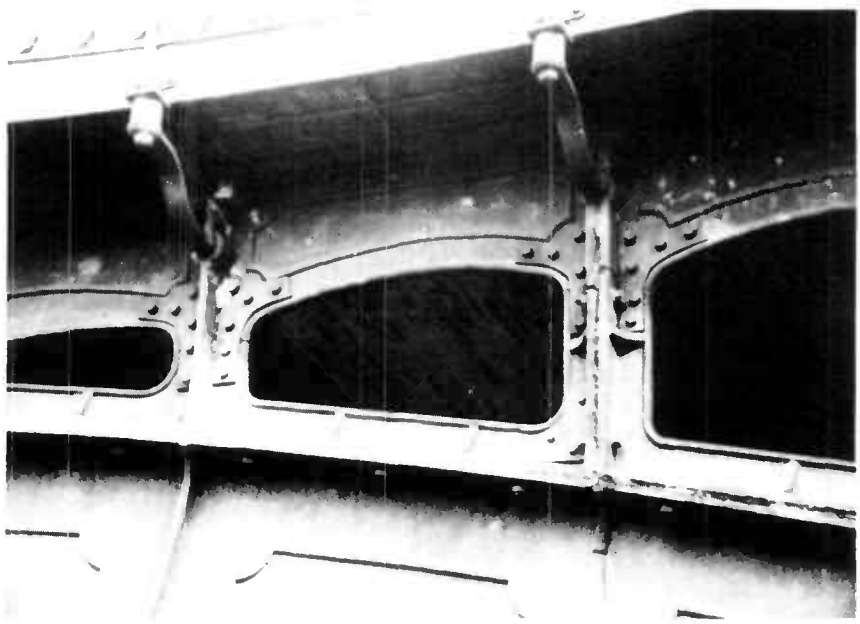


Fig. 1 – Assemblage d'ouvrage en fonte.

2.2.2 – Le rivetage

Avec l'utilisation du fer comme matériau principal d'ossature, apparaît la nécessité d'un nouveau mode d'assemblage.

A la différence de la fonte, le fer est utilisé en traction et les assemblages doivent donc transmettre correctement ce type d'effort ; en outre, alors que la fonte peut être coulée en éléments monoblocs importants, les sections de poutres en fer sont constituées de tôles, plats, cornières et profilés divers assemblés entre eux. Ainsi apparaît le rivetage dans la construction.

Hormis les assemblages longerons/pièces de pont, pièces de pont ou entretoises/poutres principales qui sollicitent les rivets à l'arrachement des têtes, deux principes régissent la conception des assemblages rivés :

– reconstitution de la section coupée,
– transmission des efforts par sollicitation en cisaillement des rivets.

Cela conduit à des assemblages assez lourds, particulièrement lorsque les sections comportent plusieurs épaisseurs de tôles ; en dépit de cet inconvénient, le rivetage va subsister de nombreuses années puisqu'il était encore utilisé pour les assemblages sur site dans les années soixante (fig.2).

Une telle persistance de la technique peut s'expliquer par le fait que les opérations de rivetage, d'une part n'induisent aucune transformation métallurgique dans le métal assemblé, et d'autre part mettent en œuvre, pour les rivets, un acier de caractéristiques mécaniques relativement modestes et de bonne malléabilité. L'amélioration des caractéristiques physico-chimiques des aciers, principalement après la deuxième guerre mondiale, permettra au soudage de supplanter peu à peu le rivetage, d'abord pour les assemblages en atelier (le relais étant pris par l'utilisation de boulons à haute résistance pour les assemblages sur chantier), puis pour l'ensemble des opérations d'assemblage (atelier et chantier).

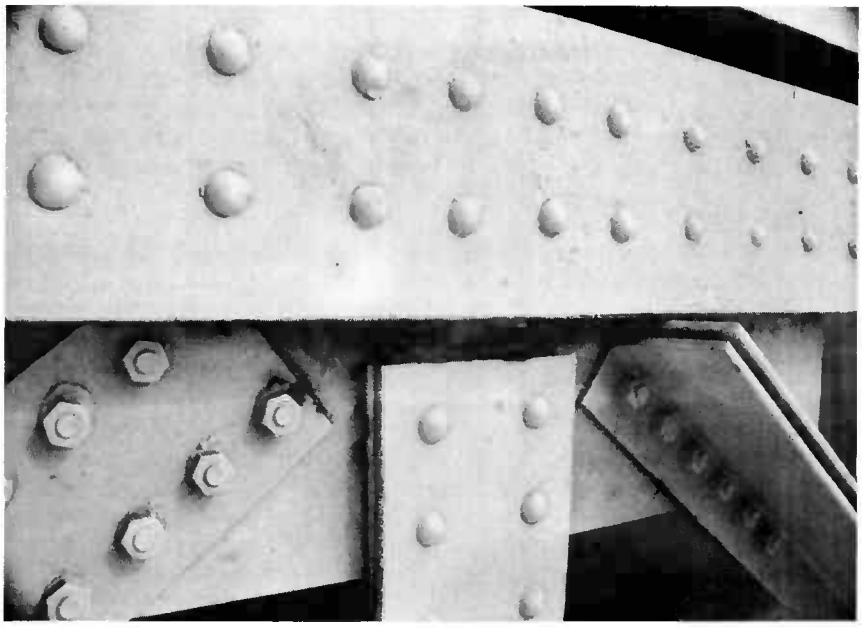


Fig. 2 –
Assemblage rivé.

2.2.3 – Les assemblages par boulons HR (ou à serrage contrôlé)

L'utilisation des boulons à haute résistance a fait son apparition en France, dans le domaine des ouvrages d'art, vers la fin des années soixante. Le mode de fonctionnement des assemblages réalisés avec ce type de produit est fondamentalement différent de celui des assemblages rivés, puisque la transmission des efforts est obtenue par frottement des pièces assemblées par recouvrement ; la mobilisation de cet effet de frottement est rendue possible par une préparation de surface permettant d'obtenir une rugosité suffisante, et par la mise en précontrainte, dans le sens de l'épaisseur, des tôles assemblées à l'aide de boulons de caractéristiques mécaniques élevées, ces derniers ne devant normalement jamais être soumis à un effort de cisaillement. On conçoit que ce mode de liaison n'a été rendu possible que par la production d'aciers à hautes caractéristiques mécaniques présentant, par ailleurs, de bonnes garanties vis-à-vis des pertes par relaxation.

2.2.4 – Le soudage

Mode d'assemblage généralement utilisé de nos jours, le soudage ne s'est généralisé qu'après la deuxième guerre mondiale. Pourtant, le soudage oxyacétylènique était connu depuis 1901 et la première électrode enrobée fut fabriquée en 1907.

Cette anomalie apparente s'explique par le fait que le soudage est une opération métallurgique au cours de laquelle les caractéristiques des aciers peuvent être considérablement modifiées ou altérées. Aussi, la généralisation du soudage n'a-t-elle pu se faire qu'en raison des progrès effectués, tant dans le domaine de l'élaboration des aciers que dans celui de la métallurgie de la soudure, ainsi que dans celui du contrôle, par essais non destructifs, de la qualité de la mise en œuvre.

Le soudage est une opération de jonction, par fusion et refroidissement, de deux éléments métalliques, avec apport d'un métal complémentaire de caractéristiques aussi proches que possible de celles du métal de base. Ainsi, en un endroit déterminé de la construction, l'acier constitutif passe, en un temps relativement court, et après une élévation brutale de température, de l'état liquide à l'état solide ; ce phénomène entraîne des modifications structurales dans l'acier dont la structure finale, dans le joint soudé et à son voisinage, est conditionnée principalement par sa composition chimique et la rapidité de la transformation.

Schématiquement, on peut dire que, plus sa teneur en carbone est élevée, plus l'acier est sensible au phénomène de "trempe" favorisant l'obtention de composés fragiles qui, combinée à l'action des diverses contraintes d'origine thermomécanique, peut aboutir à des fissurations, donc à la ruine de l'ouvrage.

Sachant que, jusqu'en 1965 environ, l'augmentation des caractéristiques mécaniques était obtenue essentiellement par une augmentation de la teneur en carbone, il est aisé de comprendre les accidents consécutifs à la mise en œuvre par soudage d'aciers à plus hautes caractéristiques, qui ont freiné le développement du soudage comme mode d'assemblage privilégié des ossatures métalliques. En conséquence, toute opération de soudage sur un ouvrage ancien, même s'il est en acier, doit être envisagée avec prudence.

Concernant le fer puddlé, aucune règle générale ne peut être établie. Sa faible teneur en carbone pourrait laisser présumer une certaine aptitude à la soudabilité, mais le facteur prépondérant est l'hétérogénéité de la structure ; la présence de lits d'inclusions à forte teneur en soufre ou en phosphore rend très délicate, la plupart du temps, l'utilisation de ce mode d'assemblage qui ne se rencontre pas sur les ouvrages anciens.

2.3 – TYPES DE STRUCTURES

2.3.1 – Piles et pylônes

Bien que les exemples d'utilisation des matériaux ferreux pour la réalisation de piles ou de pylônes soient relativement peu nombreux, on peut chronologiquement distinguer trois périodes:

– structures en fonte ; colonnes tubulaires comme celles du métro parisien, piles composées de voussoirs ajourés comme celles du pont de Saint-André-de-Cubzac (fig. 3) ;

– structures triangulées en fer puddlé ou en acier, tels les pylônes de l'ancien pont transbordeur du Martrou, ou du pont suspendu de Tonnay-Charente ;

– structures en caisson, rivées ou soudées comme les pylônes des ponts suspendus de Serrières et Aubenas ou des ponts à haubans de Saint-Nazaire et Masséna.

Fig. 3 –
Pont Saint-André-de-Cubzac.

2.3.2 – Ossatures porteuses

Le fait que la fonte ne puisse travailler essentiellement qu'en compression explique que tous les ouvrages concernés soient des arcs. La structure la plus couramment rencontrée est l'arc à tablier supérieur. Les arcs sont, la plupart du temps, constitués de voussoirs moulés, assemblés par boulonnage ou clavetage. Le tablier repose sur les arcs par des tympans, évidés pour des raisons de poids, et constitués également d'éléments moulés. Transversalement, les ouvrages comportent une série de fermes, toutes identiques, à l'exception des fermes de parement qui présentent, le plus souvent, des motifs décoratifs ; ces fermes sont entretoisées par des éléments à l'origine en fonte ou en fer forgé, puis ultérieurement en fer puddlé (fig. 4).

Fig. 4 –
Pont en fonte.

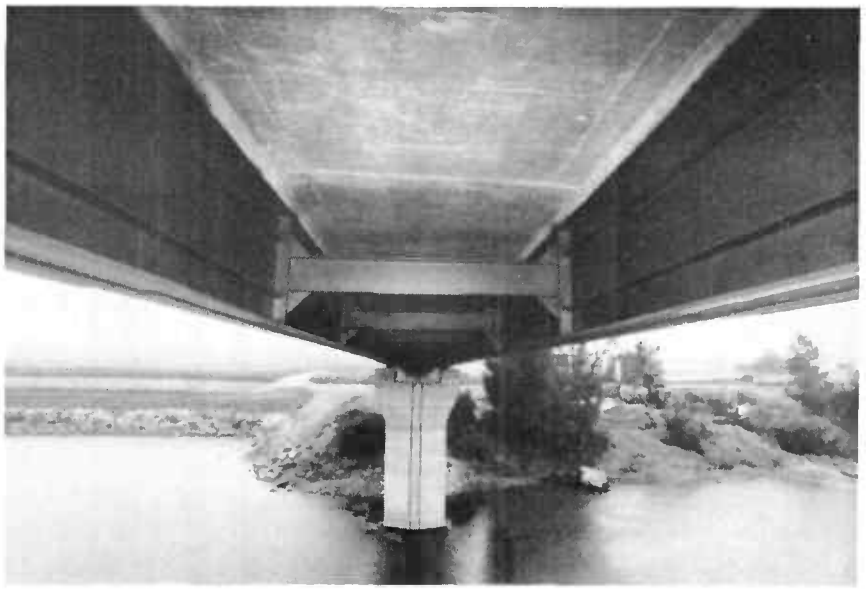


Fig. 5
Pont à poutres
sous chaussée

Les deux principaux types de structures rencontrés dans ce que l'on appelait "ponts en tôle" à la fin du XIXe siècle sont les ponts à poutres droites et les ponts en arc, mais cette apparente simplicité ne doit pas masquer l'étonnante diversité rencontrée dans les formes, la constitution de ces poutres ou de ces arcs et les dispositions constructives adoptées. À ce sujet, on se reportera utilement à la *Nomenclature des parties d'ouvrages d'art métalliques* (publication LCPC-SÉTRA) qui énumère, de façon détaillée, les différentes solutions rencontrées.

Notons cependant que, jusqu'en 1930 environ, les poutres à âmes pleines restent l'exception et que leur hauteur excède rarement un mètre. C'est le règne de la triangulation avec treillis simple ou multiple où s'entrecroisent les divers éléments. Les poutres sont le plus souvent latérales et contreventées à la partie supérieure (fig. 3).

Puis, avec les progrès de la sidérurgie permettant la production des tôles de plus grandes dimensions, les poutres à âmes pleines se développent, jusqu'à devenir la généralité après 1945, époque où elles passent "sous chaussée", pour éviter l'effet de cage.

Enfin, avec la généralisation du soudage, les structures se diversifient, et les poutres-caissons apparaissent, tandis qu'après une période où la "chasse au poids" était la préoccupation dominante des concepteurs, entraînant souvent, pour des raisons de résistance au voilement, des raidissages compliqués, les formes s'épurent, le nombre de poutres diminue et les épaisseurs de tôles mises en œuvre augmentent (fig. 5).

2.3.3 – Couvertures

Les couvertures de ponts métalliques ont présenté, au cours du temps, une grande variété.

Le mode de couverture le plus ancien est le platelage en bois ; il est constitué, en principe, de madriers jointifs en bois résistant, supportant des planches disposées transversalement aux madriers et faisant office de surface de roulement. On le rencontre encore principalement sur certains ponts suspendus, ponts de secours et ponts mobiles, la tendance étant au remplacement par des types de couverture résistant mieux à l'agressivité du trafic.

Le deuxième mode de couverture fréquemment rencontré sur les ponts métalliques anciens est la couverture par voûtains (fig. 6). Dans ce type de couverture, les pièces de pont reliant les poutres principales ou les longerons réunissant les pièces de pont supportent des voûtains généralement en briques hourdées au mortier de ciment, parfois en maçonnerie de pierre ou, plus rarement, en béton. Au-dessus des voûtains se trouve un remplissage en caillasse ou en béton maigre supportant la chaussée. Dans certains ouvrages, les voûtains peuvent être remplacés par une simple tôle mise en forme, concave ou convexe.

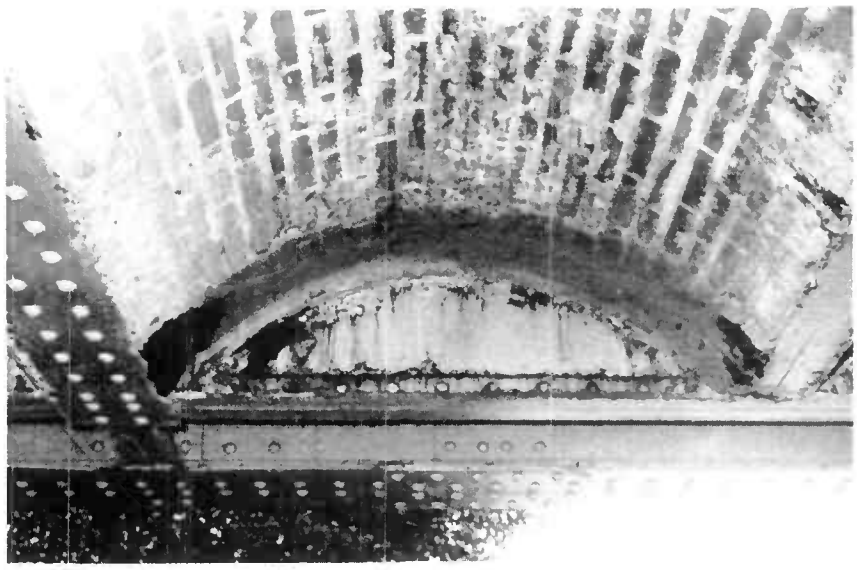


Fig. 6 – Voûtains.

Ensuite apparaissent les dalles de béton armé, les dalles mixtes et les dalles en béton précontraint.

Les premières ont une épaisseur courante de l'ordre de 20 à 24 cm et sont, plus ou moins, solidarisées avec les poutres principales, les pièces de ponts et les longerons, à l'aide de connecteurs de formes variées (plats, arceaux, goujons...). Les secondes sont beaucoup plus minces (10 à 12 cm), et sont constituées d'une dalle en béton associée à une tôle par un grand nombre de connecteurs assurant un fonctionnement solidaire des deux matériaux ; l'un de ces types de dalles est la dalle Robinson, d'épaisseur constante ou variable selon que l'on utilise des tôles planes ou cintrées.

Les dernières ont des épaisseurs du même ordre de grandeur que les dalles en béton armé et se rencontrent lorsque l'espacement entre les poutres est grand (> 5m) ou les encorbellements importants. La solidarisation, dans ce cas, est assurée par des connecteurs à friction.

Enfin, le type de couverture introduit en France dans le courant des années soixante est la dalle orthotrope* intéressante pour les grands ouvrages, pour les ouvrages provisoires ou pour les ponts mobiles en raison de son faible poids. Elle consiste en une tôle de 12 à 14 mm d'épaisseur minimale (exceptionnellement 10 mm pour des ouvrages de type particulier), raidie par des nervures, le plus fréquemment en forme d'augets trapézoïdaux (fig. 7).

* contraction de "orthogonale-anisotrope".

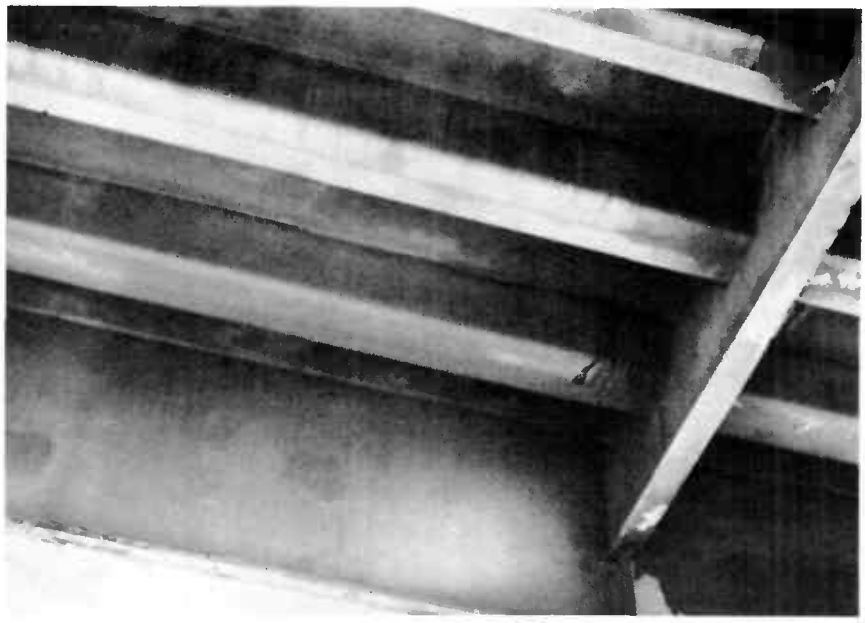


Fig. 7 –
Dalle orthotrope.

Par ailleurs, on rencontre sur certains ouvrages des couvertures métalliques discontinues, se présentant sous la forme d'éléments indépendants mis en œuvre par boulonnage; le type d'élément le plus répandu est constitué de caissons en tôle pliée, raidis intérieurement par une nervure rapportée.

2.3.4 – Ossatures mixtes

Ne présentant extérieurement guère de différence avec les ossatures métalliques associées à une dalle de béton armé ou en béton précontraint, les ossatures mixtes offrent la particularité, sur le plan de la conception, de prendre en compte la couverture dans la résistance générale de l'ouvrage. Il en résulte, d'une part un allégement de la structure métallique, spécialement au niveau des semelles supérieures et d'autre part une importance toute particulière accordée à la solidarisation des deux matériaux, d'où une plus grande densité de connecteurs.

Par ailleurs, le béton n'étant pris en compte que dans les zones où il est comprimé, des efforts de compression additionnels sont apportés par divers procédés : dénivellation d'appuis, précontrainte longitudinale de la dalle... Il est à noter que l'effet des dénivellations d'appuis peut tendre à s'estomper avec le temps.

CHAPITRE 3

Notions sur les causes et la nature des désordres

Les désordres affectant les ponts métalliques ont principalement deux origines :

– l'une physico-chimique comme la corrosion,

– l'autre mécanique comme la fatigue, la désorganisation d'assemblages boulonnés ou rivés, les voilements ou déversements.

3.1 – LA CORROSION

La corrosion est le phénomène naturel par lequel les métaux ferreux tendent à se transformer en oxyde ou hydroxyde.

3.1.1 – Mécanisme de la corrosion

La corrosion dite "aqueuse" est un phénomène électrochimique faisant intervenir des transferts de charges électriques élémentaires entre le métal et le milieu environnant. Ces transferts se produisent entre différentes zones du métal constituant les pôles d'une pile électrochimique ; on appelle anodes les zones où il y a libération d'électrons, c'est-à-dire où il se produit une dissolution du métal (corrosion), et cathodes les zones où il y a une consommation desdits électrons. La formation des ces "piles de corrosion" peut être due soit à l'hétérogénéité des matériaux, soit à l'hétérogénéité du milieu environnant.

3.1.1.1 – Hétérogénéité des matériaux

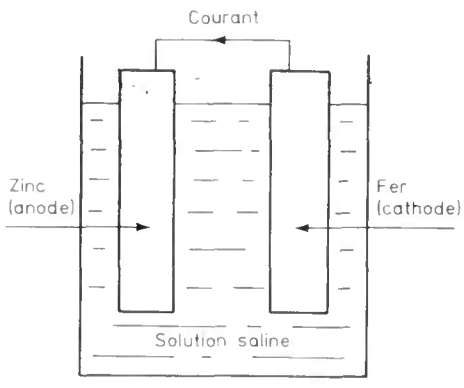
Dans ce cas, on a affaire à une pile dite "galvanique", qui peut se former entre deux métaux différents immergés dans un électrolyte (eau salée par exemple), ou simplement placés sous une fine pellicule d'humidité. Ce phénomène peut également se produire en différentes parties d'un même métal ou entre deux métaux de composition chimique voisine mais non identique, par exemple :

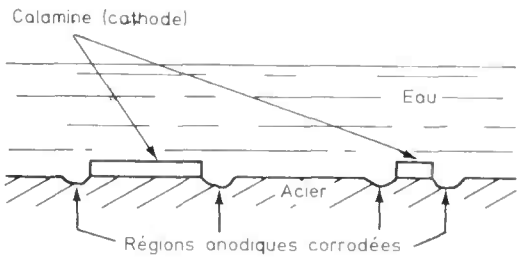
– entre les diverses couches de ferrite et d'oxydes dans le fer puddlé ;

– entre les diverses zones d'un acier partiellement calaminé ;

– entre les rivets et le métal constitutif de l'ossature dans un ouvrage rivé ;

– entre le métal de base et le métal d'apport dans un ouvrage soudé.





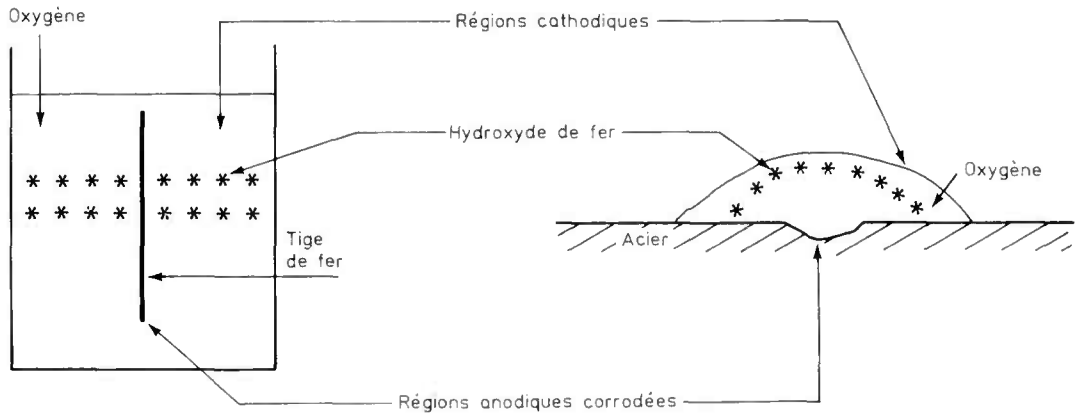
Piles dites «galvaniques».

3.1.1.2 – Hétérogénéité du milieu environnant

Le cas le plus courant est la pile dite "par aération différentielle" ; l'hétérogénéité se situe alors au niveau de l'électrolyte où se forment des zones qui diffèrent par la concentration en oxygène dissous. Deux exemples sont donnés ci-dessous :

– le premier est constitué par une tige de fer plongée dans une eau salée au contact de l'air à sa partie supérieure ;

– le second est constitué par une plaque métallique sur laquelle a été déposée une goutte d'eau salée.



Piles dites «par aération différentielle».

Dans les deux cas, l'aération différentielle se produit entre le fond du bocal et sa partie supérieure, ou entre le centre de la goutte et sa périphérie. A noter que le phénomène est le même en présence d'eau douce, mais la conductivité électrique de cette dernière étant plus faible, la corrosion se développera plus lentement ; cela explique la vitesse de corrosion plus élevée des ouvrages exposés à une atmosphère marine.

3.1.2 – Diverses formes de la corrosion

Selon la nature et la répartition des hétérogénéités dans le métal, la corrosion peut présenter diverses formes :

– lorsque les réactions électrochimiques se répartissent au hasard à la surface des métaux, on a affaire à une corrosion généralisée qui se traduit par une réduction régulière de l'épaisseur du métal. Au contraire, quand les zones de réaction sont nettement séparées, la corrosion est dite localisée ; ce peut être le cas dans les zones préférentielles de rétention d'eau ;

– lorsque les zones de dissolution ont une surface nettement plus petite que les zones de non dissolution, on a affaire à de la corrosion par piqûres ; la corrosion est d'autant plus forte que le rapport des surfaces est plus faible, elle progresse dans l'épaisseur du métal et peut aboutir à une perforation des pièces ;

– lorsque les hétérogénéités se répartissent en lits, comme dans le fer puddlé, on assiste à de la corrosion feuilletante, qui peut désorganiser à cœur les pièces concernées.

Un autre type de corrosion peut concerner certains éléments particuliers (boulons à haute résistance, tiges d'ancrage précontraintes, fils de câbles de ponts suspendus), c'est la corrosion fissurante sous contrainte (ou sous tension) qui, comme son nom l'indique, se traduit par la formation de fissures transversales aboutissant, à terme, à la rupture brutale de l'élément. Elle affecte surtout les pièces soumises à d'importants efforts de traction, présentant en outre une composition chimique et une structure métallurgique défavorables.

Il existe, par ailleurs, d'autres formes de corrosion qui ne concernent pas, en général, les métaux utilisés dans la construction des ouvrages métalliques : ainsi, par exemple, la corrosion intergranulaire susceptible d'attaquer certains aciers inoxydables.

3.1.3 – Localisation des désordres

La corrosion du type "galvanique" due au contact de deux métaux de composition chimique différente peut se rencontrer :

– dans les ouvrages rivés, au niveau des assemblages et plus particulièrement à la périphérie des rivets ; dans ce cas, c'est l'acier constitutif de l'ossature qui se corrode ;

– dans les ouvrages soudés, à la lisière des soudures, le fait étant favorisé par l'existence de contraintes résiduelles. Cela est exceptionnel, mais peut cependant se rencontrer dans le cas de réparations effectuées sans respect des règles de l'art.

La corrosion du type "par aération différentielle" est la plus répandue. Un ouvrage non protégé par un revêtement anticorrosion finirait par périr par corrosion généralisée mais, même en présence de peinture, le vieillissement de cette dernière et sa dégradation par manque d'entretien permettent à la corrosion de s'installer dans des zones préférentielles. Ce sont toutes les zones de rétention d'eau et d'humidité qui peuvent être dues :

– soit à la conception : poutres en U formant bac, absence de dispositifs d'évacuation d'eau, pièges à eau divers, contact acier-béton au niveau des trottoirs dans les ponts à poutres latérales par exemple, contact maçonnerie-ossature dans les ponts à voûtains (fig. 8) ;

– soit dans les anciens ouvrages rivés, à la multiplicité des pièces accolées (cornières, semelles, fourrures) ; l'eau s'infiltre alors dans les interstices et la rouille, en foisonnant, peut amener des déformations locales (fig. 9).

On se reportera utilement, à ce sujet, au *Catalogue des défauts apparents des ouvrages d'art métalliques* (publication LCPC-SÉTRA).

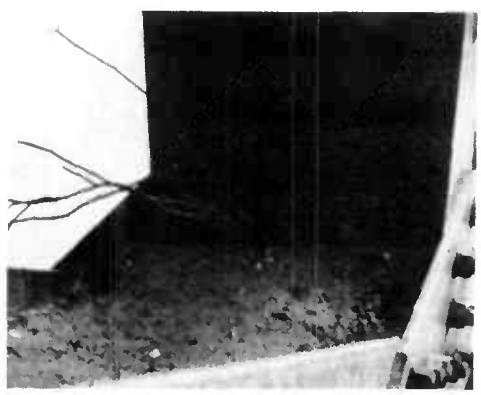


Fig. 8 – Piège à eau.

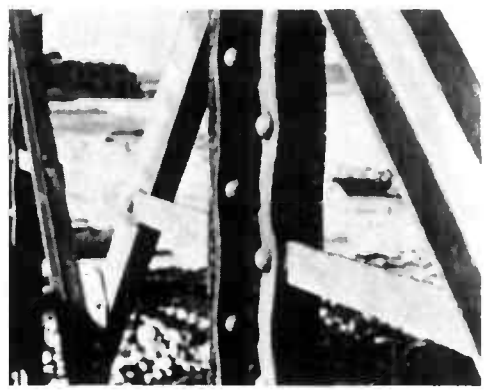


Fig. 9 – Foisonnement.

3.2 – LA FATIGUE

Beaucoup plus rares que les désordres dus à la corrosion et limités à des parties d'ouvrages particulièrement sollicitées ou à des dispositions constructives défectueuses, les désordres dus à la fatigue méritent, néanmoins, une attention particulière car ils sont plus insidieux, donc bien moins facilement repérables, et ils peuvent, suivant leur localisation, provoquer la rupture brutale d'éléments vitaux d'une structure s'ils ne sont pas détectés à temps.

La fatigue se traduit par une fissuration des éléments métalliques, fissuration qui, après un stade d'initiation ou d'amorçage, progresse à une vitesse dépendant d'un certain nombre de facteurs pour aboutir au stade où le métal sain subsistant n'est plus à même de transmettre les efforts auxquels il est soumis et où l'on assiste à la ruine de la pièce.

3.2.1 – Mécanisme de rupture par fatigue

On entend par fatigue, ou endommagement par fatigue, la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycles d'efforts, cycles dont le grand nombre de répétitions peut conduire à la rupture des pièces constituées avec ces matériaux.

Si, d'une façon très générale, on peut dire qu'il y a fatigue toutes les fois que l'on est en présence d'efforts variables dans le temps, l'endurance d'une pièce ou d'un assemblage, c'est-à-dire sa capacité de résistance à la fatigue, dépend de nombreux facteurs tels que la géométrie de la structure, l'histoire des efforts appliqués, la loi de comportement à la déformation et la loi de fissuration du matériau considéré.

L'analyse de tous ces facteurs étant extrêmement complexe, il n'est pas question d'en développer davantage les éléments.

Toutefois, pour fixer les idées, dans le domaine des ouvrages métalliques soudés en particulier, il convient de prendre en compte principalement l'amplitude de variation de contrainte et l'existence de concentrations locales, cette dernière étant fonction de la géométrie de l'assemblage.

Lorsqu'une pièce donne lieu à une rupture par fatigue, le processus de ruine peut être décomposé en trois parties:

– amorçage d'une fissure,
– propagation lente de cette fissure,
– propagation brutale conduisant à la rupture.

La durée de la phase d'amorçage d'une fissure dépend de nombreux paramètres parmi lesquels on peut citer, en premier lieu, l'amplitude de variation de contrainte, mais aussi le niveau de contrainte, l'existence de concentrations locales de contrainte, les irrégularités de surface qui se comportent comme des micro-entailles, la présence de contraintes résiduelles (dues au soudage par exemple) ou de défauts de soudures.

Une fois la fissure amorcée, celle-ci induit une concentration de contrainte très localisée et le mécanisme de propagation repose sur la formation d'une zone plastique évolutive en fond de fissure. La vitesse de propagation, et donc la durée de la phase de propagation lente, peut dépendre de la longueur de la fissure, de l'amplitude de variation, de la contrainte réelle appliquée, de la contrainte maximale, de la fréquence, de la température, de l'environnement, de la géométrie et de l'histoire de la fissuration.

Enfin, quand la fissure atteint une certaine longueur, le facteur de concentration de contrainte en fond d'entaille dépasse une valeur critique, caractéristique intrinsèque du matériau ; il y a alors propagation brutale et rupture de l'élément concerné.

Dans le cas le plus fréquent, la géométrie de l'assemblage et l'amplitude de variation de contrainte sont telles, que l'endurance est supérieure à la durée de vie de l'ouvrage, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de risque de rupture.

En revanche, dans le cas contraire (géométrie de l'assemblage défavorable, associée à une amplitude de variation de contrainte élevée), il convient d'être vigilant car la rupture peut se produire pour des contraintes bien inférieures à la résistance à la traction, voire à la limite d'élasticité du métal, si les efforts, variables dans le temps, sont appliqués un grand nombre de fois.

3.2.2 – Localisation des désordres

Parmi les facteurs occasionnant des désordres dus à la fatigue, on a cité les concentrations de contraintes, les nombreux cycles de chargements variables et l'amplitude de variations de contraintes. On rencontrera donc ces désordres principalement dans les parties les plus sollicitées d'ouvrages supportant une circulation lourde intense et de structure relativement légère, de même que sur les ouvrages présentant de grandes variations dans la répartition des efforts tels que certains ponts mobiles.

Sur les ouvrages anciens à ossature rivée, les désordres se localisent souvent aux assemblages de liaison entre éléments différents (pièces de pont/poutres principales par exemple), de même que dans les sections où il y a discontinuité d'éléments entraînant une mauvaise transmission des efforts. La fissuration s'amorce dans les angles rentrants des découpes, ou à partir des trous de rivets.

Beaucoup plus rarement, on peut rencontrer ce type de fissuration dans les assemblages par boulons à serrage contrôlé, le phénomène étant largement freiné par la précontrainte exercée en périphérie du trou par les rondelles sous écrou et tête de boulon.

Dans les ouvrages soudés, les zones de localisation sont celles où il y a une brusque variation du champ de contraintes, soit à l'échelle de la structure (nœud de triangulation), soit à l'échelle d'un élément (variation d'épaisseur). La fissuration s'amorce le plus souvent dans la zone de transition entre le cordon de soudure et le métal de base, le type d'assemblage le plus sensible étant le cordon frontal perpendiculaire à la direction des efforts (cordon d'extrémité des semelles superposées). L'ensemble de ces détails constructifs fait l'objet, aujourd'hui, d'une classification en fonction de leur nocivité vis-à-vis des sollicitations de fatigue (fig. 10).

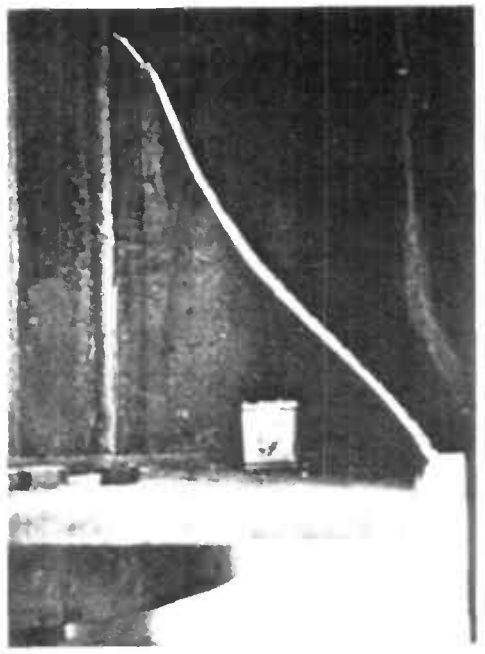


Fig. 10 – Fissure.

3.3 – CAS DES PONTS EN FONTE

Comme mentionné précédemment, la fonte est un matériau peu sensible à la corrosion, aussi ce type de désordre n'est-il pratiquement jamais rencontré.

En revanche, la fonte est un matériau fragile et l'on assiste fréquemment à des fissurations et à des ruptures d'éléments. Outre le cas de rupture accidentelle par choc, les fissurations de pièces ont des origines qui peuvent être distinguées des phénomènes de fatigue. Leurs causes doivent plutôt être recherchées dans l'augmentation de l'agressivité du trafic ; il en résulte des sollicitations pour lesquelles les ouvrages n'ont pas été calculés : majoration dynamique des efforts, déformation différentielle entre les divers arcs constitutifs entraînant des efforts de torsion ou de traction que le matériau n'est pas à même de supporter. En outre, du fait de la fragilité de ce dernier, la vitesse de propagation des fissures est grande et la rupture peut survenir brutalement.

3.4 – AUTRES TYPES DE DÉSORDRES

D'autres types de désordres peuvent être rencontrés sur les ouvrages métalliques. Les uns affectent les assemblages, les autres le corps même des pièces.

Les premiers concernent les assemblages rivés ou boulonnés ; ce sont, pour les ouvrages rivés, des désorganisations localisées telles que des insuffisances de serrage, des jeux, des ovalisations de trous résultant de l'action du trafic (fig. 11).

Fig. 11 – Jeu d'assemblage.

Pour les assemblages par boulons à serrage contrôlé, on peut assister à un déplacement de pièces dû à une mauvaise prise en compte du coefficient du glissement des pièces entre elles, soit à une relaxation des boulons au cours du temps, soit encore à un défaut de serrage initial.

Plus rarement, on rencontre des ruptures de rivets, la plupart du temps provoquées par un foisonnement de rouille entre les pièces assemblées, ou des ruptures de boulons entraînées par un excès de serrage à l'origine.

Le second type de désordres recouvre les phénomènes d'instabilité élastique localisés, tels que flambement de semelle entre deux cours de rivets, voilement d'âme de poutre, ou d'ensemble tels que déversements de poutre. A l'origine de ces phénomènes, on retrouve souvent un excès de sollicitations dû, par exemple, à un passage de convoi en surcharge, ou à des opérations de vérinage mal conduites (fig. 12,13,14).

Fig. 12 – Flambement.

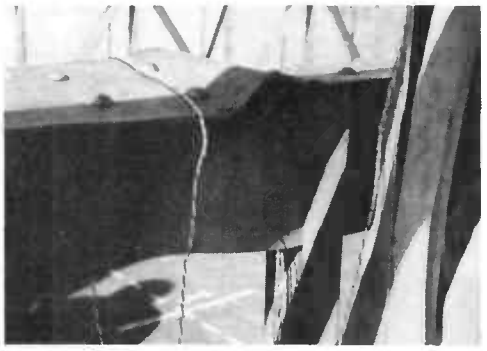


Fig. 13 – Voilement.

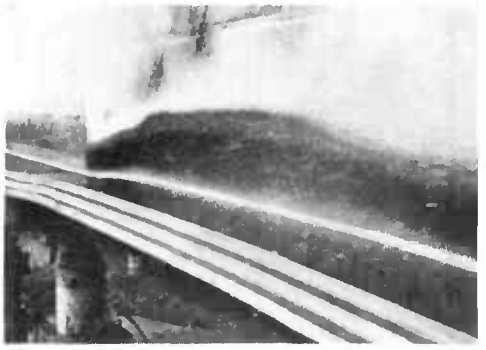


Fig. 14 – Déversement.

3.5 – DÉSORDRES AFFECTANT LES COUVERTURES

3.5.1 – Couvertures en bois

Ces désordres peuvent présenter divers degrés de gravité, depuis le battement des lattes constituant le platelage jusqu'à la rupture des madriers supports. Les causes peuvent être variées :

– action générale du trafic entraînant la désorganisation de la fixation des lattes (fig. 15) ;

– déformation sous l'effet des conditions climatiques ;

– pourrissement ou attaque par des parasites, pouvant affecter aussi bien les lattes que le support (fig. 16).

Fig. 15 – Battement de lattes.

Fig. 16 – Altération du bois.

3.5.2 – Couvertures en voûtains

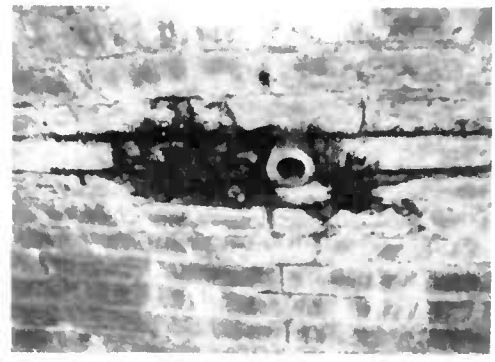
Les causes des désordres sont, dans ce type de couverture, liées à la conception d'origine :

– dimensionnement insuffisant pour le trafic actuel,

– absence de chape d'étanchéité.

Fig. 17 – Fissuration longitudinale des voûtains.

Fig. 18 – Défaut d'étanchéité des voûtains.



Il en résulte des dégradations de type :

– mécanique : fissuration, rupture d'éléments, effondrement localisé (fig. 17) ;

– physico-chimique : circulation d'eau, altération des éléments constitutifs ou des joints, corrosion des supports métalliques au niveau du contact maçonnerie-métal ou à l'intérieur du remplissage, dans des zones inaccessibles, corrosion des tôles supportant le remplissage des chaussées (fig. 18).

3.5.3 – Couvertures en béton

On retrouve les mêmes causes que pour les couvertures en voûtains, mais dans la plupart des cas il y a combinaison des deux causes conduisant à une aggravation de la situation.

Le sous-dimensionnement de la dalle ou des armatures de béton armé conduit à une fissuration mécanique qui, combinée à l'absence de chape d'étanchéité, à l'insuffisance d'enrobage des armatures, et parfois à une mauvaise qualité du béton, permet à l'eau de s'infiltrer dans le corps de la dalle ; il s'ensuit une corrosion des armatures, d'où un affaiblissement complémentaire.

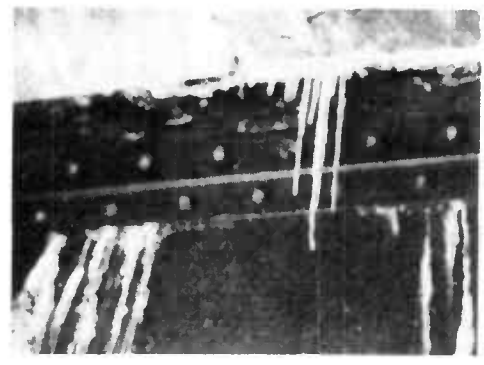


Fig. 19 – Cheminement des eaux.

La circulation d'eau provoque en outre, comme dans le cas des voûtains, la corrosion des éléments supports de l'ossature métallique (fig. 19).

Notons qu'il convient de ne pas confondre les fissures d'origine mécanique et celles dues au retrait du béton, qui sont un phénomène relativement normal.

Par ailleurs, il convient de signaler que les couvertures du type dalle mixte n'ont jusqu'ici pas présenté de désordres spécifiques.

3.5.4 – Ossatures mixtes

Les couvertures prises en compte dans la résistance des ossatures mixtes sont, en règle générale, bien dimensionnées ; de plus, elles sont toujours munies de chapes d'étanchéité. Ces deux facteurs rendent peu probables, pour ce type de structures, les désordres courants affectant les couvertures en béton.

Les éventuelles fissurations, surtout dans les zones où, en principe, le béton est toujours comprimé, n'en présentent que plus d'importance et nécessitent une étude particulière du comportement général de l'ouvrage.

Par ailleurs, il peut arriver que l'on constate des décohésions entre l'ossature métallique et la dalle en béton, en particulier dans les zones d'about. Dû essentiellement à une insuffisance de connexion, ce type de désordre, lorsqu'il est constaté, doit entraîner également une vérification du comportement général de la structure.

3.5.5 – Couvertures métalliques

A l'exception des viaducs métalliques démontables pour passages surélevés provisoires, les platelages métalliques en dalle orthotrope n'ont que très rarement, jusqu'ici, présenté des désordres particuliers.

Par contre, les revêtements de chaussée peuvent être l'objet d'une fissuration provenant d'une inadaptation du matériau à la flexibilité du support, ou de la modification de ses propriétés au cours du temps, et qui peut par la suite donner lieu à des décollements, puis à des arrachements (*cf. Catalogue des défauts*) (fig. 20).

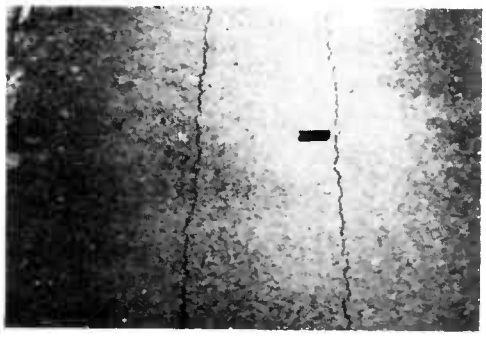


Fig. 20 – Fissuration du revêtement.

Les platelages discontinus, quant à eux, sont, pour la plupart, des platelages de remplacement d'autres types de couvertures (platelages bois, voûtains) ; ils sont utilisés soit pour minimiser l'entretien, soit dans un souci d'allégement de l'ouvrage et ne sont pas conçus pour supporter un trafic lourd et intense.

Ils peuvent présenter deux types de désordres :

– ruptures de cordons de soudure, fissuration dans la tôle de couverture ;

– très fréquemment, desserrage des boulons de fixation entraînant des jeux et des battements, avec accroissement des sollicitations dynamiques.

CHAPITRE 4

Surveillance

4.1 – GÉNÉRALITÉS SUR LA SURVEILLANCE

La surveillance des ouvrages métalliques ne présente pas de difficultés particulières ; sa méthodologie doit être conçue en fonction de deux facteurs principaux :

– la nature de l'ouvrage
  • ouvrage à structure entièrement rivée,
  • ouvrage à structure principalement ou entièrement soudée ;

– la nature des désordres potentiels
  • corrosion,
  • déformations ou ruptures accidentelles,
  • fatigue.

Concernant les phénomènes de corrosion, il convient de distinguer les structures modernes soudées qui présentent de grandes surfaces planes et ne comportent que rarement des points de rétention d'eau, et les structures anciennes rivées où la superposition de plats, cornières et autres profilés constitue autant de sources d'infiltration. Dans le premier cas, la détection des foyers de corrosion et le suivi de l'évolution de ces derniers sont aisés alors que, dans le second, la relative complexité des assemblages requiert un examen plus attentif relevant de la surveillance périodique (visite annuelle ou inspection périodique).

4.2 – SURVEILLANCE CONTINUE

La surveillance continue est bien adaptée à la détection des désordres tels que les déformations accidentelles dues, par exemple, à des chocs de véhicules sur des membrures ou au dépassement de charges admissibles provoquant des phénomènes de voilement ou de déversement. La détection de ces anomalies particulièrement visibles ne nécessite ni une inspection poussée, ni une compétence spécifique de la part du surveillant.

4.3 – VISITE ANNUELLE

La visite annuelle comporte l'appréciation qualitative de l'état général de la peinture (décollements, dégradations,...) et doit s'attacher principalement à localiser les foyers de corrosion, à mesurer les déformations accidentelles notées au cours de la surveillance continue, à noter les rivets et boulons rompus ou manquants dans les assemblages rivés ou boulonnés, et à détecter visuellement les fissurations éventuelles de fatigue.

Sont examinés plus particulièrement :

– les points de rétention d'eau : nœuds de triangulation, empilement de semelles, jonctions âmes-cornières ;

– les points de contact triple air-acier-béton : retombées de voûtains, jonctions latérales trottoirs-âmes de poutres ;

– les raccordements de pièces secondaires sur pièces principales susceptibles d'être soumis à des variations importantes d'efforts locaux, tels que : longerons-pièces de ponts, pièces de ponts-poutres principales.

La visite comporte, en outre, l'examen :

– de la sous-face des dalles de couverture, avec recherche de percolation d'eau traduisant une fissuration ;

– du comportement des appareils d'appui, notamment avec recherche d'indices de blocage ;

– du comportement des articulations des ponts en arc ;

– des tympans des ponts en fonte.

4.4 – INSPECTION DÉTAILLÉE

A l'issue de l'inspection détaillée, l'état de la protection anticorrosion de l'ouvrage doit être codifié par référence à l'échelle européenne d'enrouillement.

Par ailleurs, outre les opérations visées au précédent paragraphe, l'inspection détaillée comporte des examens particuliers visant à apprécier la bonne tenue des assemblages.

Pour les ouvrages rivés, l'appréciation de cette tenue peut être effectuée en "sonnant" au marteau les têtes de rivets de certains assemblages principaux. Cette opération, bien que simple, ne pouvant être systématique, il est recommandé de pratiquer par sondage, une généralisation éventuelle à tous les assemblages vitaux pouvant être décidée suivant les résultats obtenus.

Pour les ouvrages soudés, de même que pour les ouvrages rivés, où des fissures de fatigue auraient été notées au cours de la visite annuelle, il doit être procédé à un examen attentif de tous les assemblages de même type et susceptibles d'être soumis aux mêmes efforts. Le cas échéant, il est recommandé de procéder à des contrôles par ressuage permettant de déceler des fissures peu visibles à l'œil nu, la présence d'une fissure dans le revêtement anticorrosion n'impliquant pas automatiquement une fissuration du métal sous-jacent. Pour être significatif, un contrôle par ressuage doit être effectué sur métal nu et nécessite donc, au préalable, le décapage de la protection anticorrosion.

CHAPITRE 5

Entretien et réparation

5.1 – ENTRETIEN COURANT

L'entretien courant ne comporte pas de dispositions différant des opérations visées au paragraphe 4.1.1– de la première partie de l'Instruction technique. Une attention particulière doit être portée au nettoyage des sommiers de culées, des dispositifs permettant l'évacuation des eaux et des parties de l'ouvrage susceptibles de retenir l'humidité (poutres en U par exemple) et de favoriser ainsi la corrosion ; un moyen efficace pour assurer ce nettoyage étant le lavage à l'eau sous pression.

5.2 – ENTRETIEN SPÉCIALISÉ

L'entretien spécialisé des ouvrages métalliques comporte essentiellement les remises en peinture de l'ossature. S'y ajoutent les opérations touchant à l'entretien de la chaussée telles que réfection de la couche de roulement, voire de la chape d'étanchéité. Toute opération touchant plus profondément les couvertures doit être considérée comme une réparation.

En revanche, peuvent être assimilées à des opérations d'entretien, les réparations mineures affectant l'ossature, telles que le remplacement de rivets ou de boulons, à l'exclusion des remplacements de pièces.

5.2.1 – Opérations de remise en peinture

En matière de protection anticorrosion d'ouvrages métalliques, l'efficacité de l'opération de remise en peinture dépend certes de la qualité du système de peintures utilisé mais également, et principalement, de la qualité de la mise en œuvre.

Un certain nombre de règles sont donc à respecter, tant sur les opérations à effectuer que sur le contrôle de ces dernières. Pour le détail de ces dispositions, il convient de se reporter au *Guide de contrôle de chantier de peintures sur ouvrages métalliques* (publication LCPC d'avril 1978).

Néanmoins, il paraît possible d'indiquer que suivant l'état de la protection en place, il sera procédé :

– soit à la réfection de cette dernière, avec l'élimination totale du revêtement et la remise à nu du métal sur l'intégralité de la charpente ;

– soit à une remise en peinture comportant la réfection totale du système dans les zones corrodées après la remise à nu locale du métal, puis l'application générale de deux à trois couches de peintures ;

les retouches ponctuelles ou réfections partielles étant en principe à exclure.

L'attention est toutefois attirée sur :

– la difficulté qu'il peut y avoir à remettre correctement à nu certaines charpentes (ouvrages vétustes, ossatures à triangulation fine ou complexe, etc.) ;

– les précautions qui doivent être prises pour les remises en peinture, notamment dans les zones de transition, en bordure des réfections locales, entre la nouvelle protection et celle qui subsiste où peuvent apparaître des problèmes d'adhérence ou de compatibilité entre produits ;

de sorte qu'il est recommandé de se rapprocher d'un service technique spécialisé, compétent pour ce type de problèmes.

5.2.2 – Réfection des couches de roulement et des chapes d'étanchéité

Hormis le cas des ouvrages à platelage métallique et, notamment des viaducs métalliques démontables, les opérations de réfection des couches de roulement et des chapes d'étanchéité des ouvrages métalliques ne présentent pas de particularité vis-à-vis de celles des autres ouvrages. (Ces opérations relèvent du fascicule 21 de la présente instruction).

Pour les revêtements de chaussées sur platelages métalliques, l'attention est attirée sur la démolition du revêtement initial, la préparation de surface du support et, le cas échéant, sur le choix du nouveau revêtement. L'un des points fondamentaux est le respect de l'intégrité du support métallique qui dépend essentiellement des moyens de démolition employés. De même, la préparation du support métallique joue un rôle essentiel dans l'accrochage et la tenue ultérieure du nouveau revêtement, aussi doit-elle être réalisée par jet d'abrasif à l'exclusion de tout autre moyen.

Aucune règle générale ne peut être dégagée et, sur ces sujets, on se reportera utilement au document "Revêtements de chaussées sur platelages métalliques" (numéro thématique du *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées* - 1981). Toutefois, ces opérations de revêtement de chaussées s'accompagnant inévitablement de détériorations localisées de la protection anticorrosion, il est impératif de les réaliser avant réfection de la peinture, et non l'inverse.

5.2.3 – Remplacement de rivets et de boulons

Il peut se produire, dans les ouvrages anciens rivés ou dans des assemblages par boulons à serrage contrôlé, que l'on soit amené à remplacer certaines de ces pièces.

Le remplacement pièce pour pièce de boulons à serrage contrôlé ne pose, en général, pas de problèmes particuliers, les trous d'assemblages présentant un jeu suffisant pour procéder à l'opération sans difficulté. Dans le cas contraire, il convient de vérifier si un glissement relatif des divers éléments ne s'est pas produit, faisant alors travailler les boulons au cisaillement ; on est alors en présence d'un désordre plus grave justifiant une réparation d'ensemble de l'assemblage.

Les opérations suivantes sont considérées comme des opérations d'entretien si elles ne concernent que des remplacements isolés, les remplacements de groupes de rivets ou de boulons doivent être considérés comme des réparations.

Dans le cas d'assemblages rivés, il faut d'abord procéder à l'opération de dérivetage (extraction des parties de rivet subsistant dans l'assemblage), pour laquelle certaines précautions doivent être observées :

– en dessous de 0°C, le dérivetage par chocs est interdit ;
– aux températures ordinaires, il ne doit être procédé au dérivetage que sous réserve :

- que la chasse des rivets ne nécessite pas d'efforts exagérés, de façon qu'aucune déformation, même localisée, n'en résulte,
- que l'opération n'entraîne pas la formation de criques aux bords des trous (ce point doit être vérifié par ressuage),
- que les trous des éléments assemblés ne soient pas désaxés.

Si besoin est, le dérivetage doit être réalisé par perçage au foret dans la tige des rivets, à l'exclusion de tout autre moyen tel que l'élimination au chalumeau.

Le dérivetage effectué, la règle générale est le remplacement des rivets à l'identique ou par des rivets de diamètre supérieur si un réalésage du trou s'est avéré nécessaire. Toutefois, on peut être amené, pour des questions d'accessibilité par exemple, à envisager le remplacement des rivets par des boulons à serrage contrôlé ; cette solution doit être évitée dans toute la mesure du possible. Dans le cas contraire, l'attention est attirée sur la différence de fonctionnement des deux modes d'assemblage, les rivets travaillant au cisaillement et les boulons à serrage contrôlé transmettant les efforts par contrainte et frottement. Il est donc essentiel de s'assurer que les boulons de remplacement ne seront jamais sollicités au cisaillement ; le cas échéant, afin que l'effort de précontrainte appliqué soit suffisant, on aura recours à des boulons d'un diamètre supérieur à celui strictement nécessaire.

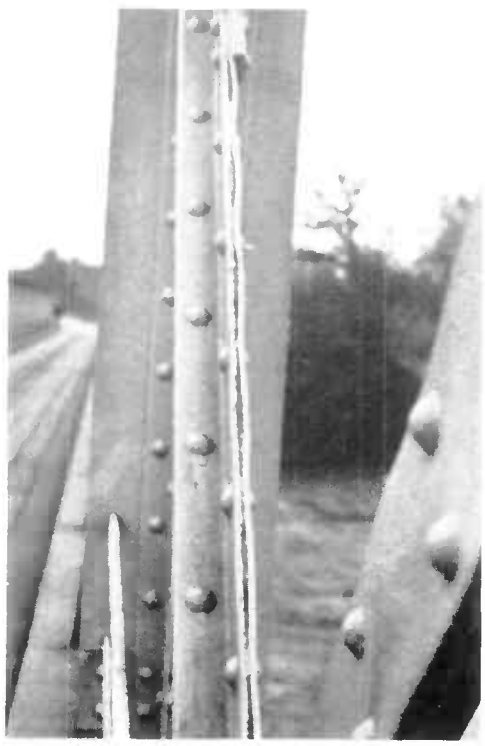
NOTA : le remplacement de rivets par des boulons ordinaires est strictement interdit. En effet, le diamètre des trous étant supérieur au diamètre des boulons, la sollicitation en cisaillement de ces derniers ne peut avoir lieu qu'après glissement de l'assemblage, ce qui signifie que l'effort transmis par les pièces n'est, en fait, supporté que par les rivets subsistants.

5.3 – RÉPARATIONS

Les réparations sur ouvrages métalliques peuvent concerner la réfection d'assemblages, la reconstitution ou le remplacement de pièces. Il faut noter que toute réparation, quelle que soit son importance, ne s'improvise pas ; elle doit donner lieu à une étude préliminaire permettant de définir la méthodologie des opérations.

5.3.1 – Réfection d'assemblages boulonnés ou rivés

Les opérations de réfection d'assemblages boulonnés ou rivés doivent obéir aux règles mentionnées ci-dessus au titre de l'entretien. En outre, il convient de ne procéder au remplacement de chaque élément que très progressivement, en prenant garde aux taux de travail des rivets ou boulons subsistants. Il faut savoir que, dans tout ouvrage en service, un travail d'adaptation s'est effectué et qu'à toute modification de la structure correspond une modification de l'état des contraintes locales. Les opérations ci-dessus, même d'importance mineure, ne doivent pas être considérées comme des interventions de routine et méritent d'être soigneusement étudiées et programmées.



Peuvent être considérées comme des réfections d'assemblage, les interventions visant à remédier à un défaut de conception, non-respect de la règle de pince par exemple ; dans ce cas, l'intervalle entre cours de rivets étant trop grand, l'eau s'infiltre entre les pièces assemblées et le foisonnement d'oxydes dus à la corrosion provoque, à terme, un bâillement. Il convient alors de procéder à un nettoyage complet des produits de corrosion puis, après perçage des pièces, de remettre dans la mesure du possible ces dernières en contact à l'aide de rivets ou de boulons intercalaires (fig. 21).

L'attention est cependant attirée sur les risques entraînés par cette opération sur des pièces manifestement trop déformées ; dans ce cas, il est préférable de procéder à un bourrage des vides au mastic de minium.

Fig. 21 – Insuffisance de pince.

5.3.2 – Réparations par soudage

Mode d'assemblage généralisé à l'heure actuelle dans la construction métallique, le soudage peut être employé, moyennant certaines précautions, dans les opérations de réparation ou de renforcement d'ouvrages.

Trois cas peuvent être distingués :

– les ouvrages soudés,
– les ouvrages rivés en acier,
– les ouvrages rivés en fer puddlé.

5.3.2.1 – Ouvrages soudés

Sur ce type d'ouvrages, la réparation par soudage ne pose pas, en général, de problème majeur. Un certain nombre de précautions doivent cependant être prises : il convient tout d'abord de disposer d'une identification correcte de l'acier constitutif de l'ouvrage (caractéristiques mécaniques, composition chimique), afin de pouvoir déterminer correctement les conditions de soudage ; ensuite, les parties d'ouvrages concernées se trouvant dans un état de contraintes différent de celui de leur fabrication, toutes dispositions doivent être prises afin de réduire les efforts de bridage susceptibles de provoquer des fissurations dans les soudures réalisées.

Concernant les dispositions constructives, dans le cas de pièces rapportées, les découpes en angles vifs sont à proscrire en raison des concentrations de contrainte qu'ils engendrent (fig. 22).

5.3.2.2 – Ouvrages rivés en acier

La réparation par soudage de ce type d'ouvrages doit être envisagée avec une extrême prudence, les aciers utilisés pouvant avoir des comportements notablement différents. Une étude métallurgique s'impose dans tous les cas, le risque majeur étant celui de la fissuration à froid.

Fig. 22 – Fissure.

5.3.2.3 – Ouvrages rivés en fer puddlé

L'hétérogénéité intrinsèque de la fabrication du fer puddlé ne permet pas de dégager de règle générale vis-à-vis du soudage.

Deux principes peuvent cependant être établis :

– la faible teneur en carbone exclut le risque de fissuration à froid ;

– la structure feuilletée, comportant des lits d'inclusions à teneur en soufre et phosphore relativement élevée, entraîne un risque de séparation thermique des feuillets lors des opérations de soudage.

Il en résulte que le soudage sur des ouvrages en fer puddlé peut être envisagé et donner des résultats satisfaisants, moyennant un certain nombre de précautions opératoires comme les passes de beurrage par exemple, destinées à solidariser les divers feuillets constitutifs d'une section.

D'une façon générale, la réparation par soudage, quel que soit le matériau auquel on a affaire, ne s'improvise pas et nécessite le recours à un spécialiste capable de définir un programme de soudage comportant, entre autres, l'ordre d'exécution des soudures et les modes opératoires de soudage à utiliser. Ces précautions doivent être prises, même pour des réparations apparemment mineures ou pour la fixation d'éléments accessoires sur les pièces principales, les soudures secondaires ou de faible section n'étant pas toujours les moins nocives.

Au préalable, il faut procéder à l'identification du matériau constitutif de l'ouvrage. Dans la mesure où l'on ne dispose pas de documents à ce sujet, la méthodologie suivante peut être adoptée :

– prélèvement d'un échantillon dans une partie non sollicitée de l'ouvrage, en vue de la détermination de la composition chimique et des caractéristiques mécaniques (limite d'élasticité, résistance à la traction, allongement, résilience, dureté superficielle) ;

– vérification sur l'ouvrage de l'homogénéité du matériau, par mesures de dureté superficielle à l'aide d'une pince à biller portative, en nombre suffisant pour pouvoir disposer de résultats statistiquement significatifs.

NOTA : les mesures de dureté, si elles sont significatives dans le cas de l'acier, doivent être interprétées avec prudence dans le cas du fer puddlé, en raison de leur grande dispersion. En cas de doute sur le matériau, des méthodes telles que celles des répliques *in situ* ou l'utilisation des ultrasons peuvent être employées.

5.3.3 – Reconstitution ou remplacement de pièces

L'attitude à adopter vis-à-vis de la reconstitution ou du remplacement de pièces dans un ouvrage métallique dépend de l'importance et du rôle de la pièce concernée.

Le cas le plus fréquent concerne les anciens ouvrages, à structure triangulée, dont certains éléments sont particulièrement dégradés par la corrosion. Ces dégradations peuvent affecter, soit la triangulation des poutres principales, soit, très fréquemment, les pièces de pont, surtout au niveau du contact avec le platelage ou des voûtains. Il peut alors être procédé, soit au remplacement d'éléments tels que cornières ou semelles, soit au remplacement total de la pièce incriminée. Dans le premier cas, les solutions de jonction par soudage doivent être évitées au profit d'assemblage par rivetage ou boulonnage ; dans le second, les pièces peuvent être constituées par soudage, l'assemblage sur la structure subsistante s'effectuant par boulonnage.

Dans le cas où le remplacement concerne la triangulation des poutres principales, l'attention est attirée sur l'état de contraintes de la pièce à remplacer. Une étude approfondie doit être effectuée afin que toutes les dispositions soient prises pour minimiser les efforts transmis par cette pièce avant remplacement, l'objectif étant qu'après mise en place de l'élément neuf et transfert des charges, il n'y ait pas modification notable de l'équilibre antérieur.

5.3.4 – Réparation des couvertures métalliques

La réparation des couvertures métalliques concerne essentiellement les viaducs métalliques démontables. Les désordres nécessitant cette réparation résultent principalement de phénomènes de fatigue dus à des conditions d'exploitation particulières. Dans tous les cas, il est nécessaire de faire appel à un organisme technique spécialisé afin de définir la technique de réparation la plus appropriée.

Annexes

ANNEXE 1

Documentation – Bibliographie

CROIZETTE DESNOYERS PH. (1885), *Cours de construction des ponts*, T. II, Chap. X et XI, Ed. Dunod.

COURBON J. (1971), *Cours de résistance des matériaux*, Ed. Dunod.

GRELOT, *Cours de ponts métalliques*, ENPC.

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (1973), *Steel box girder bridges*, London.

LAFUENTE R. (1990), Historique et analyse des règlements de calcul des ouvrages métalliques, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, (à paraître).

LCPC (1978), *Guide de contrôle de chantiers de peinture sur ouvrages métalliques*, 16 p.

LCPC (1981), Revêtements de chaussées sur platelages métalliques, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, thématique, 44 p.

LCPC-SÉTRA (1981), *Défauts apparents des ouvrages d'art métalliques*, 68 p.

LCPC-SÉTRA (1986), *Nomenclature des parties d'ouvrages d'art métalliques*, 131 p.

LEMOINE B. (1981), L'origine des ponts métalliques en France, *Ann. P. et Ch.*, **19**, 3e trimest., pp. 44-52.

OTUA (1965), *Les passages surélevés en acier*, oct.

OTUA (1966), *Ponts métalliques.*

OTUA (1968), *La construction mixte acier-béton appliquée aux ponts.*

OTUA (1971-1989), *Ponts métalliques*, **1** à **13**.

PERSY J.-P. (1984), Réparation et renforcement par soudure d'ouvrages d'art en fer puddlé, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **130**, mars-avr., pp. 37-50.

PERSY J.-P. (1990), Réparation par soudage des ouvrages métalliques anciens, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, mars-avr.

SÉTRA (1985), *Ponts mixtes acier-béton bipoutres. Guide de conception*, oct., 87 p.

SÉTRA (1973), Montage des ponts métalliques, *Bull. tech.*, **8**, nov., 138 p.

ANNEXE 2

Modèle de document signalétique

Indication du service:

PONT DE.....

Document signalétique

– Date de mise à jour:
– Nombre de pages:

1 – IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Numéro d'identification		
Département		
Nature et nom de l'ouvrage		

– Maître d'ouvrage (avec références aux actes administratifs) :

– Service gestionnaire (arrondissement et subdivision) :

– Permissionnaire et occupants de voirie (avec références aux permissions de voirie et autres actes administratifs) :

– Obstacle(s) franchi(s) (nature, statut juridique et dénomination, service gestionnaire, PR ou PK de l'ouvrage sur la ou les voies franchies) :

– Photographie de l'ouvrage (en élévation) :

– Schéma de situation de l'ouvrage :

– perspective schématique du site avec les indications suivantes :
- points cardinaux :
- direction, numérotation et PR ou PK sur les voies :
- sens du courant sur la rivière :
- numérotation des appuis (piles et culées) :

2 – CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

2.1 – Type de structure (description sommaire) :

Tablier
Piles
Culées
Fondations

2.2 – Nature des matériaux de la structure :

2.3 – Ouverture de la brèche franchie :

2.4 – Longueur de l'ouvrage :

2.5 – Biais (géométrique) de l'ouvrage :

2.6 – Ouvrage(s) de soutènement contigu(s) (description) :

2.7 – Rayon de courbure en plan de la voie portée :

2.8 – Profil en long de la voie portée (nature, pente(s)) :

2.9 – Profil en travers de la voie portée (nature, pente(s)) :

2.10 – Largeur de l'ouvrage entre dispositifs de sécurité (garde-corps, barrières...) :

- largeur roulable :
- trottoirs (nombre, largeur):
- nombre de voies de circulation :

2.11 – Nombre de travées :

2.12 – Portées des travées (dans le sens des PR (ou PK) croissants) :

2.13 – Nombre d'appuis (en site aquatique, en site terrestre) :

2.14 – Limitation de charge : Date de décision :

2.15 – Limitation(s) de gabarit(s) :

- Voie(s) franchie(s) :
- Gabarit transversal: Date de décision :
- Tirant d'air : Date de décision :
- Voie portée:
- Gabarit transversal : Date de décision :
- Tirant d'air : Date de décision :

2.16 – Limitation(s) de vitesse(s) :

- Voie(s) franchie(s): Date de décision :
- Voie portée : Date de décision :

2.17 – Schémas cotés et orientés :

- coupe longitudinale (avec appuis et fondations),
- vue en plan,
- coupes transversales types (à la clé et sur appuis),
- photographies et schémas particuliers (avec légende),

2.18 – Aménagement(s) postérieur(s) à la mise en service : (description, dates, références au dossier d'ouvrage):

2.19 – En cas d'interruption de la circulation sur (ou sous) l'ouvrage:

- une déviation de la voie portée est possible par :
- une déviation de la voie franchie est possible par :
- existence d'un plan de détournement de la circulation dans le dossier d'ouvrage (oui, non) :

2.20 – Existence ou non d'une zone d'influence sur l'ouvrage :

- caractéristiques du site (agressivité, circulation...) :
- risque de chocs de corps flottants en cas de crues :
- risque de chocs de bateaux, de camions sur le tablier et les appuis :

3 – CONCEPTION ET CONSTRUCTION

3.1 – Date de construction :

3.2 – Date de mise en service :

3.3 – Environnement et renseignements géologiques :

3.3.1 – Appréciation de la stabilité des terrains concernés :

3.3.2 – Hydrogéologie (nappe, régime des eaux) :

3.3.3 – Carrière(s) et ouvrage(s) de décharge situé(s) à proximité :

3.4 – Construction :

3.4.1 – Service constructeur :

3.4.2 – Entreprise(s) ayant participé à la construction :

3.4.3 – Hypothèses de calculs (règlement(s), particularités) :

3.4.4 – Nature(s) et origine(s) des matériaux mis en œuvre :
Résultats des essais et contrôles (références aux CCPU...)

3.4.5 – Mode de construction et de mise en place du tablier :

3.4.6 – Système de protection anticorrosion (composition, références) :

3.4.7 – Type de couverture (dalle en béton, dalle orthotrope, platelage discontinu,...) :

3.4.8 – Incident(s) de construction :

3.4.9 – Etanchéité (type, emplacement) :

3.4.10 – Revêtement de chaussée (type, épaisseur) :

3.4.11 – Système(s) d'évacuation des eaux (description, emplacement) :

3.4.12 – Appareils d'appui (nombre, type) :

3.4.13 – Equipement(s) sur ouvrage (type(s), emplacement(s)) :

3.4.14 – Réseaux divers portés (nature(s), dimension(s), réservation(s)) :

3.4.15 – Réseaux divers franchis (nature(s), dimension(s), réservation(s)) :

3.4.16 – Dispositif(s) de surveillance (nature(s), emplacement(s)) :

3.4.17 – Dispositif(s) de destruction des ouvrages (nature(s), emplacement(s)) :

3.4.18 – Remarques particulières :

4 – ÉTAT DE RÉFÉRENCE – VIE DE L'OUVRAGE

Pour chacune de ces rubriques, énumération, description succincte et référence au dossier d'ouvrage.

4.1 – Etat de référence et particularités signalées dans le document de synthèse des pièces du dossier :

4.2 – Etudes, essais, reconnaissances, auscultations
(date(s), résultats) :

4.3 – Constatations de désordres
(date(s), nature(s), localisation(s) et évolution(s) éventuelle(s)) :

4.4 – Rechargement(s) de la voie portée
(date, méthode suivie, épaisseur mise en place) :

4.5 – Entretien spécialisé et travaux de réparation
(date(s), nature(s) et localisation(s)):

4.6 – Projet(s) d'amélioration
(élargissement, rectification, etc.) :

4.7 – Points particuliers
(fréquences des visites des appuis immergés, des relevés topométriques, précautions à prendre pour les visites et inspections détaillées, personne(s) dépositaire(s) des clés d'accès particuliers, etc.) :

5 – BIBLIOGRAPHIE

- Cartes géologiques (numéros, dates, références):
- Cartes topographiques (numéros, dates, références):
- Photographies de la couverture aérienne (numéros, dates, références):
- Principaux articles techniques publiés sur l'ouvrage (références):
- Références des actes administratifs relatifs à l'ouvrage (conventions internationales, consignes d'exploitation,...) :

ANNEXE 3

Modèle de procès-verbal de visite annuelle

Indication du service :

Numéro d'identification :
Date du procès-verbal :
Feuillet n° :

PROCÈS-VERBAL DE VISITE ANNUELLE

Le présent procès-verbal comprend... feuillets. Chaque feuillet doit comporter le numéro d'identification et la date du procès-verbal.

1 – IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Numéro d'identification		
Département		
Nature et nom de l'ouvrage		

– Photographie d'ensemble (éventuellement)

2 – VIE DE L'OUVRAGE

2.1 – Documents de référence :

– Date de construction de l'ouvrage :
– Date de la précédente visite annuelle :
– Date de la dernière inspection détaillée :
– Date(s) des dernières vérifications réglementaires concernant les ouvrages des occupants du domaine public:
– Date de la dernière visite des fondations en site aquatique (le cas échéant) :
– Date des dernières vérifications des installations mécaniques, électriques ou électromécaniques existantes sur l'ouvrage (le cas échéant) :
– Date et nature de la dernière intervention sur la zone d'influence de l'ouvrage :
– Date de la dernière mise à jour du document signalétique :

2.2 – Constatations et faits intervenus depuis la dernière visite ou inspection (description(s), date(s), référence(s) au dossier d'ouvrage) :

2.3 – Travaux d'entretien spécialisé et réparations effectués depuis la précédente visite annuelle (description(s), date(s), référence(s) au dossier d'ouvrage) :

2.4 – Campagne(s) de mesures et essais effectués depuis la dernière visite ou inspection (description(s), date(s), référence(s) au dossier d'ouvrage) :

3 – CONDITIONS DE LA VISITE

3.1 – Date de la visite:

3.2 – Equipe de visite (nom(s) et fonction(s)) :

3.3 – Autres participants à la visite (nom(s) et fonction(s)) :

3.4 – Moyens mis en œuvre (accès, signalisation temporaire) :

3.5 – Conditions atmosphériques (température, précipitations au cours du mois précédant la visite, si possible) :

3.6 – Conditions particulières de la visite (difficultés, incidents) :

4 – CONSTATATIONS

Chaque constatation doit être localisée, décrite et faire l'objet, si possible, de renseignements chiffrés (largeur, longueur, surface, ouverture et, si nécessaire, des croquis ou des photographies sont à joindre).

4.1 – Zone d'influence aux abords et aux accès de l'ouvrage :

4.1.1 – Étendue de la zone visitée :

4.1.2 – Zones d'accès et abords de l'ouvrage :
- remblais, talus, quarts de cônes, perrés (stabilité, ravinements, tassements, érosion, débris divers...)
- système d'évacuation et de drainage des eaux aux abords (existence, nature, fonctionnement)
- chaussées et revêtements des accès (fissuration, faïençage, flaches, points bas, défauts particuliers)
- raccordements des accès avec l'ouvrage (marches d'escalier, affaissement, venues d'eau)
- dispositifs de protection (existence, nature, alignement, état)
- constatations diverses (déplacements ou inclinaisons anormales d'arbres, de poteaux électriques ou téléphoniques, traces d'animaux pouvant exercer des dégradations, dépôts divers, travaux réalisés aux abords,...)
- ouvrages annexes (ouvrages souterrains de voirie des concessionnaires ou autres permissionnaires de voirie,...)

4.2 – État général du tablier:

4.2.1 – Profil en long général de l'ouvrage (alignement apparent, cassure éventuelle du garde-corps,... le nivellement, si nécessaire, est à joindre au présent procès-verbal):

4.2.2 – Chaussée et revêtement du tablier (fissuration, faïençage, défauts particuliers, rechargements):

4.2.3 – Trottoirs et bordures (alignement, descellement, cassures, absence d'éléments, traces de chocs, comparaison entre la hauteur de la bordure et celle figurant au dossier qui permet de contrôler l'importance d'un rechargement de la chaussée):

4.2.4 – Dispositifs de protection (existence, nature, alignement, état...) :

4.2.5 – Réservations de réseaux divers (existence, nature, utilisation, état...) :

4.2.6 – Dispositifs de surveillance et de nivellement (existence, état, relevés...) :

4.2.7 – Divers (présence de végétation, dépôts...) :

4.3 – État de la protection anticorrosion :
(localisation des zones présentant des dégradations)

4.4 – Examen de l'ossature :

4.4.1 – Ouvrages en fonte (fissuration ou rupture d'éléments) :

4.4.2 – Ouvrages en fer puddlé ou en acier :
- déformations des poutres ou d'éléments d'ossature (voilements, déversements, déformations accidentelles...) :
- état des assemblages :
  - ouvrages rivés ou boulonnés (ruptures ou manques de rivets ou de boulons) :
  - ouvrages rivés ou soudés (fissurations imputables à la fatigue...) :

4.5 – Couvertures :

4.5.1 – Dalles en béton, voûtains (percolation d'eau, présence de stalactites...) :

4.5.2 – Couvertures métalliques (fissurations...) :

4.6. – Appareils d'appui (état, mobilité) :

4.7 – Articulations (état, fonctionnement) :

Pour les articles 4.3 à 4.7, la liste n'est pas exhaustive ; se reporter au *Catalogue des défauts apparents des ouvrages d'art métalliques.*

4.8 – Fondations :

Indices apparents de l'évolution des fondations, état des enrochements, érosions, affouillements, travaux de dragage, de curage... Le cas échéant, constatations faites par les plongeurs autonomes.

4.9 – Dispositifs de visite et d'entretien :

Portes d'accès, échelles à crinoline, plates-formes, échelons, trappes de visite, éclairage intérieur (existence, état, sécurité) :

4.10 – Dispositifs de mine permanents éventuels (état, drainage) :

4.11 – Ouvrages annexes :

Locaux souterrains, emplacements des permissionnaires et occupants de voirie, ouvrages d'élargissement, galeries, structures et matériaux différents ou de fonctionnement indépendant,...:

Cette liste n'est pas exhaustive ; chaque ouvrage doit être traité séparément en suivant le même processus que pour l'ouvrage principal.

4.12 – Divers :

Équipements mécaniques ou électromécaniques éventuels : existence, état, fonctionnement.

4.13 – Remarques diverses ou générales

(circulation lourde inhabituelle, travaux au voisinage de l'ouvrage...)

5 – CONCLUSIONS

5.1 – Observations, suggestions et avis éventuels :

Signature de l'agent ayant conduit la visite et date :

5.2 – Observations du subdivisionnaire comportant : [1]

- un avis sur l'état de l'ouvrage,
- l'indication des suites données ou qu'il propose de donner à la visite annuelle[1],
- les décisions prises concernant l'entretien courant,
- les propositions d'entretien spécialisé,
- les propositions de visite complémentaire,
- les propositions d'inspection détaillée exceptionnelle,
- les autres propositions.

Signature du subdivisionnaire et date :

5.3 – Visa et instructions de l'Ingénieur d'Arrondissement de gestion au subdivisionnaire:

Signature de l'Ingénieur d'Arrondissement de gestion et date :

(1) Les avis, propositions et instructions peuvent faire l'objet d'annexes détaillées.

ANNEXE 4

Cadre de procès-verbal d'inspection détaillée périodique

Ce cadre ne s'applique qu'aux inspections détaillées périodiques, à l'exclusion des autres types d'inspection : inspection détaillée avant mise en service, inspection détaillée de fin de garantie, inspection détaillée exceptionnelle, pour lesquelles l'agent conduisant la visite peut, en fonction du but recherché et des constatations effectuées, adapter et modifier le présent modèle.

L'inspection détaillée périodique valant visite annuelle, l'énumération des points à examiner dans le modèle de procès-verbal de visite annuelle, n'a pas été reprise dans les rubriques correspondantes de l'inspection détaillée périodique si elle ne comportait pas de modification.

Indication du service :

Numéro d'Identification :
Date du procès-verbal :
Feuillet n° :

PROCÈS-VERBAL D'INSPECTION DÉTAILLÉE

Le présent procès-verbal comprend... feuillets. Chaque feuillet doit comporter le numéro d'identification et la date du procès-verbal.

1 – IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Numéro d'identification		
Département		

Nature et nom de l'ouvrage	

– Photographie d'ensemble (éventuellement)

2 – CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

2.1 – Schémas cotés :

- coupe longitudinale,
- vue en plan,
- coupe(s) transversale(s),
- plans de détail (utiles à la compréhension du procès-verbal).

2.2 – Photographies (datées et légendées)

3 – VIE DE L'OUVRAGE

3.1 – Documents de référence

3.1.1 – Date de construction de l'ouvrage :

3.1.2 – Date de dernière inspection détaillée :

3.1.3 – Date(s) et nature(s) des actions de surveillance effectuées depuis la précédente inspection détaillée:

3.1.4 – Date(s) des dernières vérifications réglementaires concernant les ouvrages des occupants du domaine public :

3.1.5 – Date et nature de la dernière visite des fondations en site aquatique (le cas échéant) :

3.1.6 – Date et nature de la dernière intervention sur la zone d'influence de l'ouvrage :

3.1.7 – Date de la dernière mise à jour du document signalétique:

3.1.8 – Date de la dernière mise à jour des plans d'inspection de l'ouvrage :

3.1.9 – Date des dernières vérifications des installations mécaniques, électriques ou électro-mécaniques existant sur l'ouvrage (le cas échéant) :

3.2 – Constatations et faits intervenus depuis la dernière action de surveillance

Énumération datée et références au dossier d'ouvrage avec interprétation dans le cadre de l'évolution de l'ouvrage:

3.3 – Travaux d'entretien courant, spécialisé, ou réparations effectués depuis la dernière inspection détaillée

Énumération datée et références au dossier d'ouvrage, appréciation des résultats obtenus :

3.4 – Campagne de mesures et essais divers effectués depuis la dernière inspection détaillée

Énumération datée et références au dossier d'ouvrage avec interprétation des résultats dans le cadre de l'évolution générale de l'ouvrage :

3.5 – Évolution de l'ouvrage avant l'inspection

Analyse tenant compte des indications et orientations du document de synthèse du dossier d'ouvrage (sous-dossier 2) et des procès-verbaux précédents (sous-dossier 3) :

4 – CONDITIONS DE L'INSPECTION

4.1 – Date de l'inspection :

4.2 – Équipe d'inspection : (nom(s) et fonction(s))

4.3 – Autres participants à l'inspection : (nom(s) et fonction(s))

4.4 – Moyens mis en oeuvre :

(accès, signalisation, nacelle, passerelle, autres matériels)

4.5 – Conditions atmosphériques:

(température, précipitations au cours du mois précédant l'inspection,...)

4.6 – Conditions particulières de l'inspection:

(difficultés, incidents,...)

5 – CONSTATATIONS

Le modèle du procès-verbal de visite annuelle (annexe 3) donne une énumération des points à examiner.

En supplément :

- codification de l'état de la protection anticorrosion par référence à l'échelle européenne d'enrouillement,
- examen détaillé des assemblages.

6 – MESURES, ESSAIS, RECONNAISSANCES EFFECTUÉS

– Relevé topographique de l'ouvrage (le cas échéant)
– Sondage au marteau des assemblages rivés
– Recherche approfondie des fissures de fatigue (dans le cas de fissures notées au cours de la visite annuelle); contrôles par ressuage (le cas échéant)

7 – DOCUMENTS GRAPHIQUES, PHOTOGRAPHIES

8 – INTERPRÉTATION DÉTAILLÉE DE TOUTES LES OBSERVATIONS EFFECTUÉES

9 – CONCLUSIONS

9.1 – Appréciation sur l'état de l'ouvrage et son évolution :

9.2 – Propositions de modification ou de mise à jour :

- du document signalétique,
- du dossier d'ouvrage.

9.3 – Suggestions concernant les travaux d'entretien courant avec éventuellement un ordre de priorité :

9.4 – Propositions d'actions complémentaires de surveillance ou d'investigations :

9.5 – Suggestions concernant les études, les travaux d'entretien spécialisé et les réparations s'avérant nécessaires ou souhaitables avec éventuellement un ordre de priorité :

Signature de l'agent ayant conduit l'inspection détaillée et date :

9.6 – Observations du subdivisionnaire comportant :

- un avis sur l'état de l'ouvrage,
- l'indication des suites données ou qu'il propose de donner à l'inspection détaillée, (1)
- les propositions d'entretien spécialisé,
- les propositions d'investigations complémentaires, d'études ou de réparations,
- les autres propositions (limitation du trafic...).

Signature du subdivisionnaire et date :

9.7 – Visa et instructions de l'Ingénieur d'Arrondissement de gestion au subdivisionnaire

Signature de l'Ingénieur de l'Arrondissement de gestion et date :

(1) Les avis, propositions et instructions peuvent faire l'objet d'annexes détaillées.

Réalisé par le LCPC, 58, boulevard Lefebvre – 75732 PARIS CEDEX 15
sous le numéro 502515 – Dépôt légal : 1er trimestre 1990

Page laissée blanche intentionnellement

Page laissée blanche intentionnellement