

Note d'information
Ouvrages d'art

Aciers autopatinables

Recommandations pour leur utilisation en structure des ponts et passerelles

Par rapport à l'acier classique, l'acier autopatinable, ou acier à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique, présente l'avantage de ne pas nécessiter l'application d'un système de protection anticorrosion car il possède la particularité de se couvrir d'une couche de patine qui le protège de la corrosion.

La formation d'une patine efficace nécessite cependant l'application de certaines règles de conception, de mise en œuvre et d'inspection. Cet acier a fait son apparition à la fin des années 1960 dans les ouvrages d'art mais son développement est resté limité jusqu'au début des années 2000 où, grâce à une meilleure prise en compte du développement durable dans les projets, les utilisateurs lui portent un intérêt grandissant.

En l'absence de recommandations internationales, la présente note d'information détaille les préconisations de conception, de mise en œuvre ainsi que d'inspection des ponts et passerelles en acier autopatinable.

Avant-propos

Cet acier est également souvent désigné par le terme « patinable » ou par l'une de ses marques commerciales (Corten, Indaten® ou Diweten® notamment). Sa désignation symbolique est W pour « Weathering steel ».

Selon la norme NF EN 10025-5 [1], l'acier à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique, appelé également couramment acier autopatinable est un acier auquel un certain nombre d'éléments d'alliage, tels que phosphore, cuivre, chrome, nickel, molybdène, ont été ajoutés afin d'en accroître la résistance à la corrosion atmosphérique par la formation d'une couche auto-protectrice d'oxyde sur le métal de base sous l'influence des conditions atmosphériques.

Cette couche d'oxydes compacts et adhérents, appelée patine, se forme lorsqu'il est soumis à une alternance de cycles d'humidité/séchage. Contrairement à l'acier classique, l'acier autopatinable est donc en mesure de s'auto-protéger vis-à-vis de la corrosion et peut être utilisé à l'état nu dans les structures d'ouvrages d'art ou de bâtiments.

La construction des ouvrages d'art en acier autopatinable sur le réseau des routes nationales est encadrée en France depuis 1985 par une note du Directeur des Routes du 26 septembre 1985 « Recommandations relatives à l'utilisation d'aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique »¹.

Ce document prudent a été rédigé suite à l'observation de dégradations sur différents types de structures en France et à l'étranger, en particulier sur des équipements de la route et des bâtiments. Par ailleurs, face à l'allongement de la durabilité des peintures, l'intérêt économique de l'acier autopatinable s'avérait limité, conduisant ainsi à une réduction de son usage depuis cette date.

Au cours des années 1980, des études ont été réalisées dans différents pays afin de déterminer l'origine des dégradations et d'édicter de nouvelles recommandations ; elles ont mis en évidence que les documents rédigés à la fin des années 1970 et au début des années 1980 étaient conservateurs à certains égards et incomplets à d'autres.

Parce qu'il permet de se passer de mise en peinture, l'acier autopatinable présente de nombreux avantages en termes de développement durable, d'hygiène et sécurité des personnes ainsi que de contraintes et de coûts de maintenance. Ceci explique un retour progressif dans la conception des ouvrages d'art.

1. Portée de la Note d'Information

Cette Note d'Information précise les limites d'utilisation et détaille les dispositions essentielles qui doivent être mises en œuvre sur les ponts et les passerelles mettant en œuvre l'acier autopatinable pour la charpente.

Ce document vient compléter la réglementation en vigueur pour les structures métalliques : l'Eurocode 3 [2], la norme NF EN 1090-2+A1 [3] et le fascicule 66 [4] du C.C.T.G..

Il a par ailleurs été rédigé en supposant que les bonnes dispositions constructives décrites dans le guide du Sétra « Ponts mixtes acier-béton – Guide de conception durable » [5] sont appliquées.

Il porte sur les ouvrages à structure métallique sous chaussée (à poutres ou à caissons), ouvrages les plus couramment construits : par expérience, l'acier autopatinable leur est particulièrement bien adapté.

¹ Disponible sur le site de la Documentation des Techniques Routières Françaises (DTRF)

D'autres structures peuvent être envisagées moyennant la prise en compte des spécificités de l'acier autopatinable.

Suite à l'observation dans les années 1970 de dégradations graves sur des équipements de la route, la note de 1985 proscrit l'acier autopatinable pour cette utilisation. En l'état actuel des connaissances, il apparaît nécessaire de maintenir cette interdiction.

2. Principales modifications apportées à la circulaire de 1985

La restriction d'usage de l'acier autopatinable pour les ouvrages franchissant ou portant des voies soumises à l'action de sels de déverglaçage est modifiée. Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, son utilisation au-dessus de voies salées est possible si les dispositions sont adaptées, notamment en faisant un minimum de tirant d'air suivant les conditions aux abords de l'ouvrage (voir partie 3 – Environnement).

La surépaisseur sacrificielle correspond à une épaisseur d'acier qui n'est pas prise en compte dans le calcul de la résistance de la charpente : cette surépaisseur n'a pas pour objet de garantir une durée de vie minimale à la structure mais permet au maître d'ouvrage d'avoir le temps d'intervenir si l'environnement est plus agressif que prévu. Aussi, le document spécifie une surépaisseur unique quel que soit l'environnement.

Cette nouvelle version spécifie des aciers à grains fins pour les épaisseurs supérieures à 30mm à la manière de ce qui est exigé pour les structures courantes.

Le boulonnage n'est plus exclu, mais le soudage reste recommandé.

La partie relative à l'inspection propose des critères objectifs d'évaluation de la patine qui peuvent être utilisés en application de l'Instruction Technique sur la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEO) [6] pour les ouvrages « État » et qui peuvent s'intégrer aux référentiels de surveillance des ouvrages pour les collectivités.

3. Environnement de l'ouvrage

Si l'acier autopatinable est très performant lorsqu'il est soumis à des cycles alternant humidité et séchage, il se dégrade rapidement lorsqu'il reste constamment humide. Cette partie décrit les environnements particulièrement agressifs pour lesquels l'usage de l'acier autopatinable est à exclure ou à limiter.

Départements et Territoires d'Outre-Mer

La possibilité de recourir à l'acier autopatinable est à évaluer au cas par cas par un spécialiste du matériau en fonction de l'environnement du site envisagé pour implanter l'ouvrage, c'est-à-dire par un professionnel intervenant régulièrement dans la conception d'ouvrages d'art de cette nature mais n'étant pas partie prenante dans le projet considéré.

Ouvrages à proximité de la mer

Les ouvrages à charpente en acier autopatinable sont exclus sur une bande côtière de 2km pour la Mer du Nord, la Manche et l'Océan Atlantique et de 1km pour la Mer Méditerranée.

Ces distances sont également valables pour les estuaires, rias, abers et autour de la partie du cours des rivières que la mer remonte périodiquement. Il est cependant possible de restreindre cette distance si le suivi de l'état d'ouvrages métalliques à proximité de la zone envisagée montre que la corrosivité du site n'est pas influencée par la présence du cours d'eau.

Ouvrages au-dessus d'un cours d'eau

La hauteur minimale du tirant d'air au-dessus du niveau moyen d'un cours d'eau ou d'une étendue d'eau est de 2,5 m. En dessous de cette valeur, il est déconseillé d'avoir recours à ce matériau. Si cette solution est cependant envisagée, elle doit être dûment justifiée du point de vue des conditions microclimatiques et de la surveillance et la maintenance de la structure.

Atmosphères urbaines

L'état de l'art sur le comportement de l'acier autopatinable en zone urbaine se focalise sur les oxydes de soufre. Cependant, les teneurs observées aujourd'hui dans les villes françaises ne sont pas en mesure de provoquer une dégradation de l'acier autopatinable.

Concernant l'influence d'autres composants que l'on pourrait trouver en atmosphère urbaine, l'expérience n'a pas mis en évidence d'influence significative sur la qualité de la patine.

Ouvrages proches de sites industriels

L'acier autopatinable est susceptible d'être affecté par des environnements industriels, notamment ceux contenant des particules et en particulier du trioxyde de soufre.

Il convient d'évaluer le risque au regard de l'état des matériaux constituant les structures existantes à proximité de l'implantation de l'ouvrage envisagé ou, à défaut, en fixant pour limite la teneur en trioxyde de soufre à 2,1 mg/100cm²/jour en moyenne.

Atmosphères abrasives

L'acier autopatinable ne doit pas être envisagé dans la conception d'ouvrages situés en atmosphère abrasive. Les atmosphères abrasives sont caractérisées par la présence au sol de particules dures, en particulier de sable, dans un environnement pouvant être soumis à des vents très forts.

En cas de doute, le risque doit être évalué en observant l'état des structures peintes à proximité du lieu prévu de l'implantation de l'ouvrage.

Effet de tunnel

L'effet de tunnel est caractérisé par la tendance qu'ont certaines portions de route construites en déblai à limiter la dissipation du brouillard formé par les projections d'eau lors du déplacement des véhicules et à ralentir le séchage de la structure.

Cet effet de tunnel se retrouve en particulier sur les ouvrages dont la voie franchie est délimitée par des murs de soutènement ou des écrans antibruit et dont le tablier présente un faible tirant d'air. Les ouvrages associés à des tranchées couvertes sont donc exclus du champ d'utilisation de l'acier autopatinable.

Afin d'éviter ce phénomène, le tirant d'air minimal conseillé de l'ouvrage est donné par la relation suivante (Figure 1) :

$$H > \text{Min} (4,3+L/25 ; 7,50) \quad (1)$$

avec L, longueur des murs de soutènement. Sa valeur correspond à la longueur de voie franchie bordée simultanément par des murs de soutènement situés à moins de 6 mètres du bord de la chaussée et ayant une hauteur au moins égale à 2 mètres.

Les écrans antibruit, si leur hauteur est supérieure à 2 mètres, et les murs de front sont ici assimilés à des murs de soutènement.

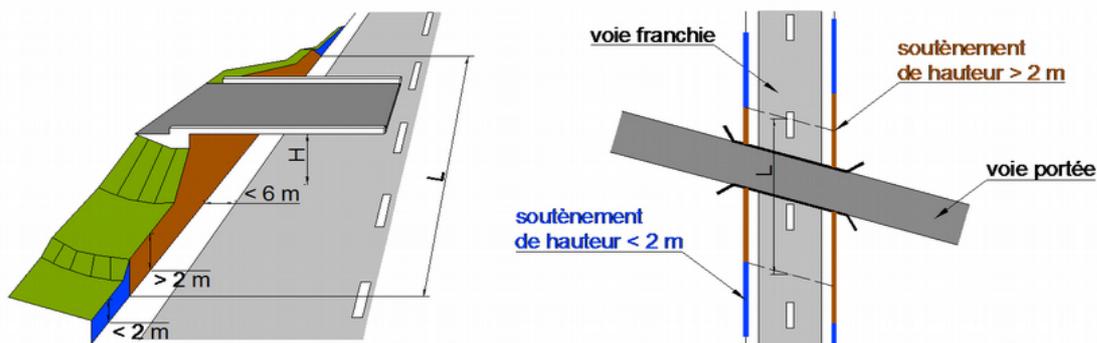


Figure 1: Longueur des murs de soutènement à considérer dans l'expression (1)
(Source : Cerema/IFSTTAR)

Évaluation de l'environnement

D'une façon générale, en cas de doute, il convient de consulter un spécialiste du matériau, celui-ci ne pouvant être partie prenante dans le projet. Des spécialistes peuvent être contactés auprès du Cerema et de l'IFSTTAR.

4. Conception de l'ouvrage

Afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage pendant la durée d'utilisation de projet, certaines dispositions constructives doivent être prises en compte lors de la conception de l'ouvrage.

Fatigue

La justification à la fatigue doit être réalisée en utilisant la méthode d'évaluation de la durée de vie sûre telle que définie dans le paragraphe 3 de l'Eurocode 3 partie 1-9 relative à la fatigue [2].

Dispositifs d'évacuation des eaux

L'acier autopatinable se dégrade rapidement lorsqu'il reste constamment humide. La conception du système de recueil et d'évacuation des eaux du tablier doit donc être réalisée avec soin. L'esprit général des dispositions constructives décrites ci-dessous² est d'éviter les stagnations d'eau sur la charpente métallique :

- la distance entre l'about des poutres et le mur garde-grève doit être au minimum de 50cm (Figure 2) ;
- un chéneau doit être fixé sous le joint de chaussée dont la durabilité et surtout l'étanchéité ne peuvent être garanties. Ce chéneau doit préférentiellement être en acier inoxydable A4 et doit présenter une pente d'au moins 2% ;
- l'extrémité de la dalle doit présenter une goutte d'eau permettant de s'assurer que l'eau provenant du joint de chaussée ne puisse suivre la dalle et atteindre les poutres.

² Les dispositions constructives décrites ci-après ne sont pas spécifiques à l'acier autopatinable mais peuvent être adoptées pour toutes les structures métalliques afin d'optimiser leur durabilité.

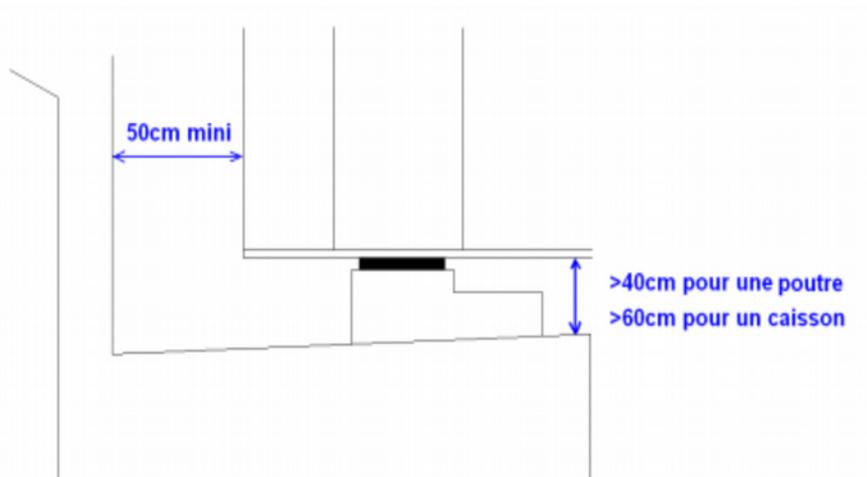


Figure 4: Hauteur des dés d'appuis (Source : Cerema/IFSTTAR)

- le système d'évacuation des eaux ne doit pas pouvoir être obstrué par des débris de végétaux et doit pouvoir être entretenu facilement. Aussi, les évacuations ne doivent pas présenter de coudes non accessibles⁴ ;
- les raidisseurs extérieurs sur appuis (Figure 5) doivent présenter un profil fermé qui évite la stagnation d'eau ;

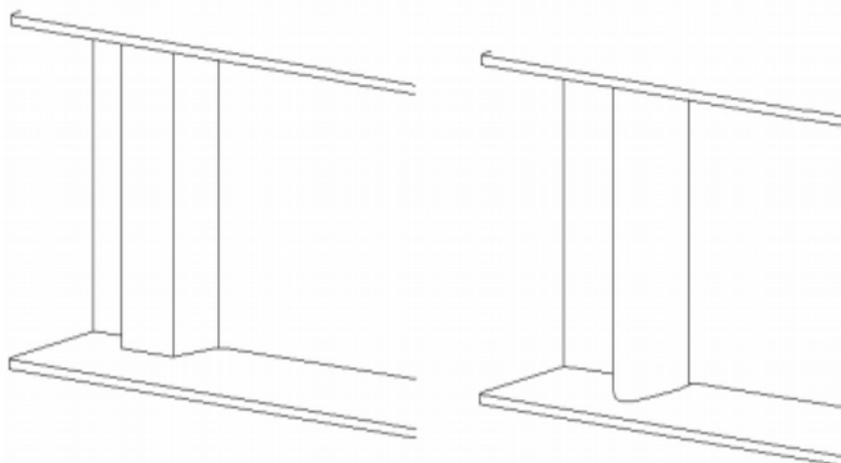


Figure 5: Exemples de raidisseurs fermés sur appuis (Source : Cerema/IFSTTAR)

- le hourdis béton doit présenter des encorbellements dont la largeur est au moins égale à la hauteur non protégée des poutres pour limiter les venues d'eau directes par temps de pluie. Cette disposition constructive est également applicable aux extrémités des consoles lorsque l'ouvrage en comporte. Les encorbellements doivent par ailleurs présenter un dispositif de type goutte d'eau sur toute leur longueur (Figure 6) ;

4 D'une façon générale, le nombre de coudes que forme le système d'évacuation doit être réduit au minimum, car ils sont régulièrement dégradés lors des opérations d'entretien.

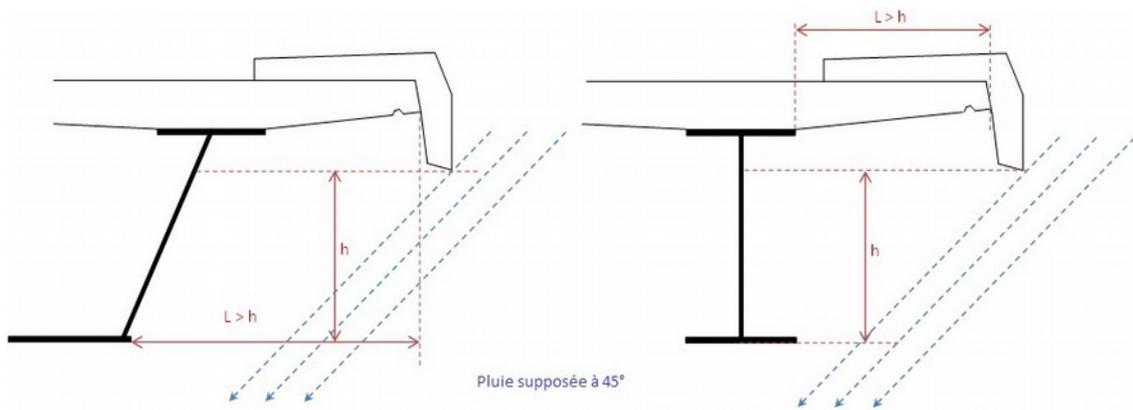


Figure 6: Largeur minimale des encorbellements

(à gauche pour un caisson - à droite pour un pont à poutres sous chaussée)

(Source : Cerema/IFSTTAR)

- les extrémités des consoles de pièces de pont (Figure 7) doivent être constituées d'une platine permettant d'empêcher l'humidité de venir ruisseler sur les semelles des consoles ;

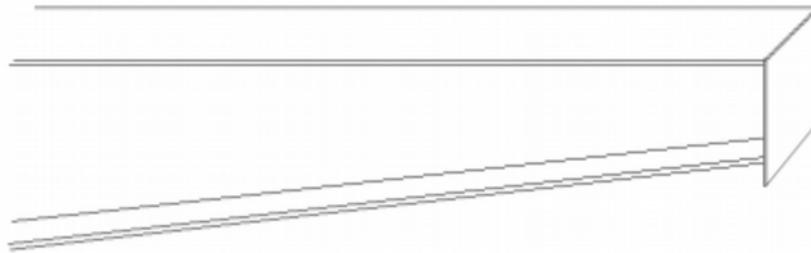


Figure 7: Platines d'extrémité des consoles

(Source : Cerema/IFSTTAR)

- des cordons de soudure transversaux doivent être réalisés en biais sur le pourtour de la semelle inférieure afin d'éviter le ruissellement des eaux provenant de la travée jusque sur le béton des appuis et éviter ainsi les coulures de rouille inesthétiques. L'épaisseur de ce cordon doit être de 5mm minimum et orienté de façon à diriger l'eau vers l'extérieur de la semelle (Figure 8).

Ce dispositif doit être réalisé à un mètre environ de l'aplomb des structures en béton à protéger ;



Figure 8 - Cordons de soudure anti-ruissellement (Source : IFSTTAR)

- en cas de risque de création de piège à eau lié à la géométrie des cordons de soudure structuraux, on arasera ces cordons.

Platelage

Pour les passerelles, les platelages en bois ne doivent pas être en contact direct avec la structure et doivent respecter les dispositions constructives de base : les lattes doivent être espacées de 8mm au minimum les unes des autres. Les lattes du platelage (et les éventuelles lambourdes) doivent se situer au minimum à 10mm au-dessus de la semelle supérieure des poutres principales.

Surépaisseurs

Une surépaisseur sacrificielle d'acier est demandée pour les aciers structurels par mesure de précaution et compte tenu des vitesses de dégradation qui peuvent être élevées lorsque l'ouvrage se trouve dans un environnement agressif. Cette disposition vise à laisser le temps au maître d'ouvrage d'intervenir, c'est-à-dire mettre la structure en peinture, au moins partiellement, dans le cas où il n'y aurait pas stabilisation de la patine.

Pour les ouvrages situés dans un environnement adéquat, cette réserve d'acier n'a pas vocation à être consommée et elle est donc unique quel que soit l'environnement considéré.

La surépaisseur doit être de 1,0 mm par face exposée à l'exception de la surface intérieure des caissons hermétiquement fermés pour lesquels aucune surépaisseur n'est requise.

Pour la justification de la charpente métallique, la résistance des sections doit être calculée en retirant les surépaisseurs aux épaisseurs de tôles retenues. En revanche pour la détermination du poids propre de la structure, toute l'épaisseur des tôles est à prendre en compte.

Boulonnage

L'Eurocode 3 partie 1.8 [2], relative au calcul des assemblages, donne dans son paragraphe 3.5 les exigences spécifiques en matière de règles de pince pour les aciers relevant de la norme NF EN 10025-5.

5. Approvisionnement matière

Aciers structurels

Les aciers constitutifs de la charpente métallique doivent disposer du droit d'usage de la marque NF Acier suivant la certification NF138 [7] – Secteur d'application « Bâtiments – travaux publics – construction métallique d'ouvrages d'art et de bâtiments non courants », gammes 20 ou 21.

En cas d'impossibilité d'obtenir des aciers certifiés NF-Acier, les aciers doivent être commandés suivant les dispositions de l'Annexe A du fascicule 66 du CCTG « Utilisation de produits non certifiés – Dispositions particulières » [4].

Tôles d'épaisseur inférieure à 30mm

Parmi les aciers définis dans la norme NF EN 10025-5 (2005) [1], seules les nuances S355J2W+N et S355K2W+N sont utilisables.

Tôles d'épaisseur supérieure à 30mm

L'annexe nationale de l'Eurocode 3 partie 2 relative aux ponts métalliques, tableau 3.1, ne permet pas l'utilisation des aciers de la norme NF EN 10025-5 [1] pour les épaisseurs supérieures à 30mm, car ces derniers n'ont pas de spécifications quant à la finesse des grains et il n'existe pas de norme européenne définissant ces derniers de la même façon que les parties 3 et 4 de la NF EN 10025 pour les aciers classiques.

De ce fait, il est souhaitable, pour les aciers supérieurs à 30mm, de spécifier des S355K2W+N avec une garantie à grains fins du producteur conformément au chapitre 3.2 de la partie 3 de la norme NF EN 10025.

Par ailleurs, lorsque les calculs montrent la nécessité d'avoir recours à des aciers de qualité supérieure à K2, il est possible de commander des aciers de qualité J5 (moyenne de trois essais supérieure à 27 joules à -50°C sans valeur unitaire inférieure à 19 joules). Ce niveau correspond à la qualité NL de la partie 3 de la norme NF EN 10025.

Cette exigence supplémentaire devra être spécifiée à la commande et le résultat pour chacune des tôles devra être reporté sur le document de contrôle du produit.

Les épaisseurs limite à considérer pour ces produits sont les mêmes que celles données par les parties 3 et 4 de la norme NF EN 10025 suivant leur état de livraison.

En l'état actuel, la norme NF EN 10025-5 (2005) [1] n'intègre pas les nuances S420 et S460 pour les aciers autopatinables. Il est toutefois possible d'avoir recours à ces aciers si le marché le prévoit et moyennant des prescriptions spécifiques. La réception de ces produits devra être effectuée suivant l'annexe A du fascicule 66 du CCTG [4].

Les mêmes spécifications s'appliquent pour les profilés, mais ceux-ci peuvent être livrés à l'état thermomécanique (+M).

Assemblages

Les produits d'apport de soudage à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique doivent être conformes à une des options du tableau 6 de la norme NF EN 1090-2 §5.5 [3].

Les boulons structuraux doivent être en acier autopatinable et conformes à la norme ASTM A490M-12 [8] type 3.

Les boulons non structuraux sont préférentiellement en acier autopatinable ou en inox. Les boulons « noirs » sont exclus. Ces boulons doivent être de classe 8.8 au minimum ou relever de la norme ASTM A325M-13 [9] type 3 pour les boulons autopatinables.

Note : Le présent document fait référence à des normes américaines, car il n'existe pas d'équivalent européen ou français.

6. Exécution de la structure

Découpe

Cette opération ne présente pas de spécificités liées à l'utilisation de l'acier autopatinable.

Soudage

Toutes les soudures, y compris les cordons de soudure anti-ruissellement, doivent disposer d'une Qualification de Mode Opérateur de Soudage et d'un Descriptif de Mode Opérateur de Soudage et être réalisées par un soudeur qualifié.

Préalablement à l'exécution de la soudure, la patine éventuellement déjà formée doit être retirée sur 10 à 20 mm de part et d'autre du joint à souder.

Le produit d'apport utilisé pour les passes de remplissage peut-être un produit d'apport classique, mais le produit d'apport utilisé pour réaliser les passes finales de toute la surface du cordon, y compris les tranches de ceux-ci pour les cordons en bout à bout, doit être spécifique à l'acier autopatinable tel que défini dans la partie 5 de la présente Note d'Information.

Notes : L'assemblage par soudage d'un élément en acier autopatinable avec un élément en acier classique ne pose pas de difficulté.

Les soudures doivent être réalisées avec soin pour éviter le marquage inesthétique des joints soudés.

Boulonnage

Cette opération ne présente pas de spécificité liée à l'utilisation de l'acier autopatinable.

7. Traitement de surface

Décapage

Afin d'obtenir une patine homogène et de la meilleure qualité possible, la structure doit être décapée à l'abrasif en usine. Le degré de soin du décapage est de niveau Sa2_{1/2} sans exigence sur la rugosité.

Protection anticorrosion

Le but du recours à l'acier autopatinable est généralement de supprimer les opérations de remise en peinture. Cependant dans certains cas particuliers, il peut être utile de peindre certaines zones de l'ouvrage, en particulier les abouts de poutre.

Si une application de protection anticorrosion est prévue, elle doit être appliquée conformément à la certification ACQPA [10] ou à une certification équivalente.

Note : L'application de la protection anticorrosion suivant ce référentiel a pour but d'obtenir une protection de qualité. Cependant la certification proprement dite ne s'applique pas, car la protection des aciers autopatins est exclue du champ de certification.

Accélérateurs de la formation de patine

En l'état actuel des connaissances, l'application de ces produits n'est pas autorisée sur la structure de l'ouvrage.

8. Transport et mise en place in-situ

Les traces de graisse laissées sur la structure par les opérations de transport et de montage doivent être éliminées des surfaces vues par l'utilisation d'un dégraissant alcalin.

9. Inspection Détaillée Initiale

Le suivi des ouvrages « État » du réseau routier national non concédé est réalisé conformément à l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEO) [6]. Cette instruction définit les Inspections Détaillées Initiales et les Inspections Détaillées Péri-

diques. L'inspection des ouvrages « État » donne lieu par ailleurs à l'établissement d'une note IQOA [11] reflétant l'état de l'ouvrage.

Le présent document se réfère à l'ITSEOA [6,12] et aux notes IQOA [11] mais les prescriptions peuvent être utilisées par les collectivités pour la surveillance de leurs ouvrages sous réserve d'adaptations, principalement sur le mode de cotation. L'inspection Détaillée Initiale au sens de l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, fascicule 2 [12], se déroule globalement de la même façon qu'une inspection détaillée proprement dite décrite dans la partie 11 de ce document.

La spécificité liée à l'Inspection Détaillée Initiale réside dans le choix des zones témoins destinées à faire l'objet de mesures d'épaisseur résiduelle de l'acier. Ces zones sont choisies de façon à être facilement accessibles tout en représentant les zones sensibles de la structure vis-à-vis de la corrosion. Ainsi au voisinage d'une culée et pour chacune des poutres externes, l'inspecteur délimitera 4 surfaces d'environ 1dm² : 2 sur la semelle inférieure et 2 sur le bas de l'âme de la poutre.

Les résultats des mesures d'épaisseur résiduelle d'acier enregistrés au cours de chacune des inspections correspondront aux résultats obtenus sur ces 8 zones. La position de ces zones doit être renseignée de façon précise dans le rapport et doit être reportée sur les plans de récolement ou les plans certifiés conformes à l'exécution.

10. Entretien

L'acier autopatinable étant plus sensible à la présence de débris végétaux et d'eau stagnante sur la structure, les opérations de nettoyage des culées et des abords de l'ouvrage revêtent une grande importance. Il en est de même de la fixation des descentes d'eau et de leur maintien en bon état afin, qu'en aucun cas, l'eau de celles-ci ne vienne s'écouler ou éclabousser la structure métallique.

11. Inspection détaillée périodique

L'inspection des ouvrages à structure métallique en acier autopatinable doit être réalisée par une personne ayant les connaissances de base des particularités de cet acier. Elle consiste à évaluer de manière directe l'état de la patine.

L'inspection des ouvrages décrite ici correspond aux inspections détaillées périodiques (IDP) définies par l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art applicable aux ouvrages d'art du réseau « État » dans son fascicule 2 [12].

Pour rappel l'IQOA définit 5 niveaux de dégradations pour les ouvrages « État » (Tableau 1) :

1	Bon état apparent
2	Défauts sur équipements ou éléments de protection ou défauts mineurs de structure sans risques immédiats
2E	Défauts sur équipements ou éléments de protection ou défauts mineurs de structure avec risque d'évolution pouvant à court terme affecter la structure
3	Structure altérée ne présentant pas de risques à court terme
3U	Structure altérée présentant des risques à court terme

Tableau 1 : Niveaux de dégradation définis par l'IQOA

Malgré les spécificités de cet acier, une périodicité identique à celle pratiquée pour les ouvrages en acier classique, soit 6 ans en régime normal à laquelle s'ajoute une évaluation IQOA triennale, paraît adaptée.

Les inspections comportent classiquement la recherche de désordres concernant la géométrie et le fonctionnement des assemblages. En complément de ces observations, l'inspection doit comporter la mesure de l'épaisseur de la patine ainsi qu'une recherche de désordres locaux affectant la patine et l'acier. Les mesures ne s'appliquent pas aux évaluations IQOA triennales qui sont des inspections exclusivement visuelles.

La note attribuée lors de cette recherche spécifique sert à l'évaluation de la charpente au sens de l'IQOA défini dans l'ITSEOA. Elle s'inscrit en lieu et place des défauts concernant la protection anticorrosion des ouvrages classiques.

Évaluation visuelle d'ensemble

La couleur de l'acier autopatinable évolue normalement de l'orangé au brun au cours des premières années, puis se stabilise au bout de 3 à 5 ans.

L'apparence de la patine est le premier indicateur de son bon fonctionnement et des conditions environnementales de l'ouvrage. Les deux critères principaux sont la couleur et la finesse du grainage moyen de la patine. Le grainage moyen étant la dimension moyenne des grains de patine.

Cette évaluation ne concerne que l'aspect d'ensemble de la patine, les zones particulières étant évaluées à part.

Lors de l'évaluation d'ensemble, l'aspect de la patine est enregistré sous forme de photos (Figure 9) sur lesquelles une référence colorimétrique doit apparaître pour rendre possible le suivi de l'évolution de la couleur de la patine d'une inspection à l'autre. Une échelle millimétrique doit également apparaître sur la photo afin de permettre l'évaluation de la dimension du grainage.

L'aspect d'ensemble de la patine peut être évalué à l'aide du tableau 2. Elle se base sur la patine la plus fréquemment observée en dehors des zones particulières.

Description de la patine	Niveau
Film d'oxyde très fin	1
Grainage moyen inférieur à 5mm	2
Grainage moyen supérieur >5 mm	2E

Tableau 2 : Niveaux de qualité de la patine basés sur son aspect

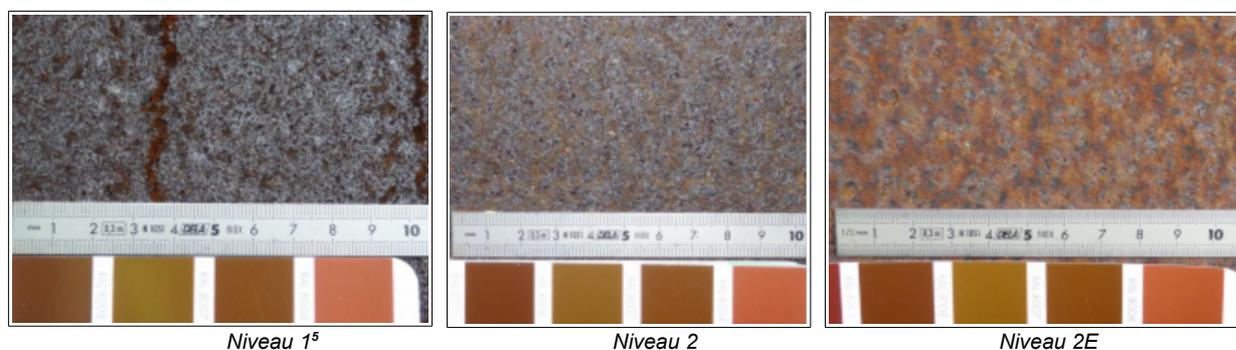


Figure 9 - Illustration des différentes notes attribuées à la patine (le nuancier RAL figurant sur les photos correspond aux couleurs : 8011, 8008, 8007 et 8004 respectivement de gauche à droite) (Source : IFSTTAR)

5 Les zébrures observables sur la photo ne sont pas prises en compte dans l'évaluation de la patine, car elles proviennent de la verticalité de la surface.

Mesure de l'épaisseur de la patine

L'objet de cette mesure n'est pas de donner l'épaisseur dans des zones particulières de l'ouvrage, mais de donner une mesure représentative de l'ensemble de la patine.

La mesure de l'épaisseur de patine est effectuée à l'aide d'un mesureur d'épaisseur de revêtement de type électromagnétique.

La surface ne doit pas être nettoyée avant, mais un soufflage doit éliminer les poussières qui viendraient perturber la mesure. Les écailles de rouille qui peuvent apparaître à la surface de la patine font partie de la mesure et ne doivent donc pas être éliminées.

Les mesures doivent être effectuées sur les mêmes zones d'une inspection à l'autre. Un point de mesure est constitué par la moyenne de 8 des 10 mesures réalisées sur une zone d'1dm² en excluant les valeurs maximale et minimale.

Le niveau d'efficacité de la patine est lié à son épaisseur et peut être caractérisé à l'aide du tableau 3.

Épaisseur de la patine (µm)	Niveau
< 100	1
< 400	2
> 400	2E

Tableau 3 : Niveaux d'efficacité de la patine basés sur son épaisseur

Évaluation visuelle locale

Cette évaluation visuelle a également pour but de mettre en évidence la présence de zones localisées pour lesquelles la patine présente un aspect plus dégradé que la patine prise dans son ensemble. Le cas échéant, l'inspecteur doit rechercher la source de ces dégradations localisées.

Les endroits propices à l'apparition de dégradations localisées de la patine sont généralement les zones proches des systèmes d'évacuation des eaux. Il est également nécessaire de porter une attention particulière aux soudures lors des deux premières inspections afin de détecter un éventuel comportement différent de la patine des soudures par rapport au reste de la patine.

La localisation précise des défauts ainsi que leur origine doit apparaître clairement dans le rapport d'inspection. Pour ces zones particulières, l'inspecteur procédera à une cotation particulière

Note d'évaluation de la patine

La note d'évaluation de la patine est obtenue à partir de la note générale attribuée à la patine. Cette dernière est déterminée par le niveau le plus fort de :

- l'évaluation visuelle (niveau de qualité) ;
- la mesure des épaisseurs de patine (niveau d'efficacité) ;
- l'observation des dégradations localisées.

Le tableau 4 donne la note globale relative au caractère autopatinable de l'acier de la structure ainsi que le qualificatif qui lui est associé dans le cas d'un ouvrage « État ».

Note IQOA liée au matériau	Interprétation
1	Patine de bonne à très bonne qualité
2	
2E	Patine susceptible de mettre en évidence une patine non efficace.

Tableau 4 : Note globale relative à la patine pour les ouvrages « État »

Note : la surveillance renforcée peut consister à procéder à des mesures de pertes d'épaisseurs de l'acier tel que décrites à la partie 12.

Prescriptions

En cas de dégradation de la qualité de la patine, l'inspecteur doit indiquer dans son rapport s'il lui a été possible d'identifier les causes des désordres, voire les modifications de l'environnement pouvant l'expliquer (modification notable du nombre de jours de salage, pluviométrie exceptionnelle, détérioration de l'assainissement...).

Les prescriptions doivent porter principalement sur les modifications éventuelles à apporter au système d'évacuation des eaux et/ou au joint de chaussée.

Si l'observation de la patine laisse penser que celle-ci pourrait ne pas être pleinement efficace (note 2E pour les ouvrages « État »), il est nécessaire de faire réaliser des mesures complémentaires d'épaisseur résiduelle d'acier conformément à la partie 12 de cette note.

Rapport d'inspection

Le rapport d'inspection doit contenir, outre les éléments équivalents à ceux requis par l'ITSEOA, les informations suivantes :

- le type d'observations et de mesures réalisées au cours de l'inspection sur la patine et l'acier ;
- la localisation exacte des zones de mesure ;
- le résultat des essais pour chaque zone examinée ;
- la synthèse des résultats par type d'essai et sa comparaison avec celle du rapport précédent. Cette partie comprend des photos représentatives de la patine avec des références colorimétriques et dimensionnelles ;
- l'indication de la présence ou non de dégradations localisées de la patine en indiquant leur gravité, leur étendue et leur emplacement ;
- la note globale attribuée au matériau ;
- des prescriptions sur les opérations d'entretien ou les travaux à réaliser.

12. Mesure directe de l'efficacité de la patine

La mesure directe de l'état de l'acier consiste à déterminer les épaisseurs résiduelles d'acier afin de connaître le niveau de dégradation de l'acier et la sécurité résiduelle de l'ouvrage. La périodicité des campagnes de mesures est à l'initiative du maître d'ouvrage, idéalement lors des inspections détaillées à 6 ans puis toutes les 3 inspections, soit tous les 18 ans.

Le matériel nécessaire à cette mesure est un mesureur ultra-sons ayant une précision au moins égale à 0,01mm.

La mesure se fait sur les quatre surfaces de 1dm² repérées lors de l'Inspection Détaillée Initiale de l'ouvrage décrites à la partie 9 du présent document et après décapage manuel ou mécanique de la patine recouvrant cette zone sur les deux faces.

Les résultats seront reportés dans les rapports d'Inspection Détaillées Périodiques, selon la classification du tableau 5.

Perte d'épaisseur par face	Note IQOA liée au matériau
$\leq 0,25$	1
$0,25 < \Delta e \leq 1,00$	2
$\Delta e \geq 1,00$	2E

Tableau 5 : Note relative à la dégradation de la structure pour les ouvrages « État »

Si les valeurs enregistrées sont supérieures ou égales à 1,0 mm par face exposée, il est nécessaire d'étudier l'opportunité de la mise en peinture partielle ou totale de l'ouvrage.

13. Documents de référence

- [1] NF EN 10 025-5 « Produits laminés à chaud en aciers de construction – Partie 5 : Conditions techniques de livraison pour les aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique », AFNOR, mars 2005, 28p, en cours de révision.
- [2] Eurocode 3 « Calcul des structures en acier », AFNOR.
- [3] NF EN 1090-2+A1 « Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier », AFNOR, octobre 2011, 194p.
- [4] Fascicule 66 « Cahier des Clauses Techniques Générales applicables aux marchés publics de travaux – Fascicule 66 – Exécution des ouvrages de génie civil à ossature en acier », JORF n°0132, 8 juin 2012, 28p.
- [5] Guide «Ponts mixtes acier-béton – Guide de conception durable», Sétra, septembre 2010, 200p.
- [6] ITSEOA – Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art – Circulaire du 16/02/2011 du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement et fascicule 0 – Dispositions applicables à tous les ouvrages, Sétra, décembre 2010, 32p.
- [7] NF 138 « Référentiel de certification NF-Acier », AFNOR, mise à jour régulière (dernière date de mise en application : 11/06/2014, révision n°13).
- [8] ASTM A490M-12 – Standard specifications for high-strength steel bolts, classes 10.9 and 10.9.3, for structural steel joints, ASTM International, 2012, 6p.
- [9] ASTM A325M-13 – Standard specifications for structural bolts, steel, heat treated 830MPa minimum tensile strength, ASTM International, 2013, 8p.
- [10] ACQPA – Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion
- [11] IQOA – Image de la Qualité des Ouvrages d'Art – Catalogue des principaux désordres des ponts mixtes acier-béton de type bi-poutre, SETRA, 1998, 28p.

- [12] ITSEOA – Instruction Technique pour la Surveillance et l’Entretien des Ouvrages d’Art – Fascicule 2 – Généralités sur la surveillance, Sétra, décembre 2010, 63p.

Cette note d'information « Ouvrages d'art » est publiée dans

la collection « Connaissances » du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.

Les notes d'information sont destinées à fournir une information rapide sur un sujet donné. Elles font l'état de connaissances, d'études, de réflexion, d'expériences ou de techniques à la date de leur parution, sachant que leur actualité et leur contenu doivent être appréciés en fonction d'évolutions réglementaires ou techniques plus récentes.

Collection

Connaissances

ISSN : 2417-9701

ISBN : 978-2-37180-074-8

Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son rédacteur ni du Cerema.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.

© 2015 - Cerema

La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable du Cerema.

Coordination – Rédaction

MOREL Jean-Michel, IFSTTAR – Tél. : 33 (0)2 40 84 57 80 – mél : jean-michel.morel@ifsttar.fr

JANDIN Philippe, Cerema/DTeclTM – tél. 33 (0)1 60 52 32 25 – mél : philippe.jandin@cerema.fr

Groupe de rédaction

BICILLI Véronique, DIR Massif Central

BITAR Daniel, CTICM

CAILLET Nicolas, ArcelorMittal

CANU Patrick, SNCF

COMBES Marie-Joëlle, RATP

CORFDIR Pierre, DIR Est

CRIGNY Michel, CG Hérault

DEGL'INNOCENTI Philippe, RATP

JACQUES Patrick, Zwahlen&Mayr

KOZLOWSKI Gregor, Berthold

MANUELLI Cécile, GTS-Dillinger

NEVEU Jérôme, CG Maine et Loire

ROYER DE VERICOURT Raphaël, RFR

SPIELMANN Alain, Alain Spielmann Architecte

TESSIER Christian, IFSTTAR

Relecture

KRETZ Thierry, IFSTTAR

HUMBERT Évelyne, CGEDD

MARNEFFE Hervé, VNF, ex Cerema/DTerEST

CREMONA Christian, CEREMA/DTeclTM

BERTHELLEMY Jacques, CEREMA/DTeclTM

Connaissance et prévention des risques - Développement des infrastructures - Énergie et climat - Gestion du patrimoine d'infrastructures
Impacts sur la santé - Mobilité et transports - Territoires durables et ressources naturelles - Ville et bâtiments durables

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement – www.cerema.fr

Direction technique Infrastructures de transport et matériaux – 110, rue de Paris. 77171 Sourdun – Tél. +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des mobilités – 25 av. François Mitterrand - CS 92803 - 69674 BRON Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30