



Acier *auto-patinable*

staal_acier_édition spéciale
Acier auto-patinable - juillet 2006

Administration – Éditeur responsable

Centre Information Acier a.s.b.l.
Bruno Dursin
12 Chaussée de Zellik
B-1082 Bruxelles
T : + 32 (0)2 509 15 01
Fax : + 32 (0)2 511 12 81
info@infosteel.be – www.infosteel.be
TVA : BE 406 763 362

Coordination

Project manager:
ir. arch. Caroline Christiaens
Assistant project manager : Marie Segers

Rédaction

Editorial manager: arch. Paul Guillaume
Texte et rédaction finale :
prof. ir. arch. Wim Hoeckman
Exemples d'application :
ir. arch. Caroline Christiaens

Mise en page

Jeffrey Houwen (AD), Cayman

Impression

Imprimerie Alpha

Tirage : 1.000 exemplaires
Copyright 2006 by CIA/SIC

Tarif

Membres CIA €13 (TVA incl.)
Non-membres €19 (TVA incl.)

Tous les exemples d'application sont publiés avec l'accord des architectes. Les droits d'auteurs des photos sont réservés aux photographes. Toute reproduction ou traduction, même partielle et sous n'importe quelle forme, doit être préalablement sollicitée par écrit auprès de l'éditeur. Dans tous les cas, la source doit être mentionnée. Toutes les informations publiées ont été examinées et recueillies avec le plus grand soin. Le CIA et la rédaction de ce guide déclinent cependant toute responsabilité pour les inexactitudes, imperfections et conséquences éventuelles d'actes fondés sur des informations reprises dans ce guide.

Couverture :
Monolith (CH) – arch. Jean Nouvel

Éditorial

Au cours des dernières années, le Centre Information Acier (CIA) a évolué, pour devenir une association de défense des intérêts de toute personne impliquée dans l'avenir de la construction en acier en Belgique et au Luxembourg. Dès 2004, le CIA a lancé avec succès une campagne de recrutement de membres. Depuis lors, près de 500 membres se sont affiliés, provenant de divers secteurs : constructeurs métalliques, architectes, bureaux d'études, instituts d'enseignement, organismes publics, fournisseurs, distributeurs, etc. Cette évolution est principalement due à la forte augmentation des activités du Centre Information Acier, tant sur le plan du marketing, du transfert de connaissances que du lobbying. En ce qui concerne les publications, le lancement du magazine spécialisé *staal_acier* en décembre 2003 a constitué un jalon important. Le présent guide sur l'acier auto-patinable introduit une deuxième phase, visant une approche plus thématique. Des publications sur la sécurité incendie et sur la construction durable sont en cours de préparation. Des exemplaires supplémentaires peuvent être commandés via le site www.infosteel.be.

Bruno Dursin
Directeur du Centre Information Acier a.s.b.l.



Avant-propos

L'acier auto-patinable est un produit naturel extraordinaire. Son attrait est dû à un phénomène que l'on tente généralement d'éviter : la rouille! Celle-ci est le produit de corrosion qui se forme lorsque l'acier est exposé aux intempéries. Toutefois, dans le cas de l'acier auto-patinable, la formation de rouille n'est pas le signe d'une corrosion avancée non désirée ni d'une dégradation de la construction.

L'acier auto-patinable résiste à la corrosion atmosphérique. Il s'agit d'un acier de construction ayant subi un (faible) alliage, principalement avec du cuivre (Cu) et du phosphore (P), ce qui forme une couche protectrice d'oxyde, ralentissant sensiblement le processus de corrosion et protégeant ainsi l'acier sous-jacent contre une attaque plus avancée. L'acier auto-patinable ne nécessite donc aucune autre protection contre la corrosion. Il présente une patine brune typique. Son utilisation s'est propagée des États-Unis en Europe dans les années 1960. Initialement, il était disponible uniquement sous le nom de marque Cor-Ten.

C'est surtout pour le revêtement de façades que l'acier auto-patinable est de plus en plus souvent utilisé par les architectes, en raison de ses caractéristiques esthétiques décoratives et de sa couleur naturelle fascinante. Son usage est en nette progression, également auprès des artistes. Les concepteurs et ingénieurs choisissent surtout l'acier auto-patinable pour son potentiel économique et sa facilité d'entretien, en particulier dans la construction de ponts. L'acier auto-patinable est également écologique: il permet de réduire, voire d'éviter, l'utilisation de peinture.

Pour mettre en oeuvre l'acier auto-patinable, il convient de tenir compte de certains aspects techniques. Différents projets de recherche ont dégagé des fils conducteurs pratiques. En Belgique, le CBLIA a publié en 1981 la brochure "Aciers patinables : recommandations pour leur utilisation dans la construction". Cette publication est maintenant dépassée, tant au niveau du contenu que de la forme. Le Centre Information Acier a donc pris l'initiative de la réécrire complètement. L'accent est mis particulièrement sur les caractéristiques de l'acier auto-patinable et les règles de conception pour en faire bon usage. Il y est fait référence aux principales normes. Outre quelques considérations économiques, l'attention se focalise principalement sur les projets récents, illustrés de photos et de détails techniques.

*prof. ir. arch. Wim Hoeckman,
Vrije Universiteit Brussel*



0_Sommaire

1	Introduction	4
2	Aciers auto-patinables	5
2.1	Composition chimique et caractéristiques mécaniques	5
2.2	Résistance à la corrosion	6
2.3	Conditions	7
2.4	Classification et surépaisseurs	7
2.5	Corrosion galvanique	9
2.6	Fatigue et comportement en cas d'incendie	9
3	Livraison et traitement	10
3.1	Disponibilité	10
3.2	Traitement	10
3.2.1	Soudabilité	10
3.2.2	Boulonnage	10
3.3	Technique d'assemblage	11
3.4	Décapage	11
3.5	Protection contre la corrosion	12
3.6	Conception	12
4	Applications	14
4.1	Maisons	14
4.1.1	Maison Dejardin-Hendricé	14
4.1.2	Annexe en acier et en verre	16
4.1.3	Maison passive	18
4.2	Appartements et bureaux	20
4.2.1	Immeuble résidentiel et commercial	20
4.2.2	Bâtiment multifonctionnel	22
4.3	Complexe omnisports	24
4.4	Centrale thermique	26
4.5	Autres applications	28
5	Inspection et entretien	30
5.1	Inspection	30
5.2	Entretien	30
5.3	Aspects économiques	30
5.3.1	Prix de construction	30
5.3.2	Frais d'entretien	30
5.3.3	Coûts ultérieurs	30
6	L'acier auto-patinable et les ponts	31
6.1	Introduction	31
6.2	Applications	33
6.2.1	Restauration du 'Pont Trencat'	33
6.2.2	Échangeur autoroutier	34
6.2.3	Passerelle piétonne	35
	Liste de vérification	36
	Photos	37
	Bibliographie	37

L'acier auto-patinable est un produit naturel extraordinaire.



1_Introduction

La différence la plus marquante par rapport aux nuances traditionnelles d'acier de construction est que l'acier auto-patinable est généralement employé sans protection contre la corrosion, telle que peinture ou couche de zinc. Il se distingue donc immédiatement du fait de la formation naturelle d'une couche de rouille protectrice. L'acier auto-patinable possède par nature une plus grande résistance à la corrosion atmosphérique. Tout d'abord, une fine couche d'oxydation se forme sur la surface du métal. Au fil du temps, cette couche devient si dense que l'oxygène de l'atmosphère ne peut plus atteindre la matière sous-jacente. Dans des circonstances favorables, le processus de corrosion est ainsi presque totalement arrêté. La condition étant bien entendu que la couche d'oxydation reste intacte et qu'elle ne soit pas enlevée, ce qui relancerait le processus de corrosion. Cette caractéristique particulière est due aux éléments de son alliage tels que le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le phosphore (P). Il s'agit ici de quantités infimes (moins de 1%), si bien que toutes les autres caractéristiques (principalement mécaniques) ne diffèrent pas réellement de celles de l'acier de construction ordinaire.

Bien que légèrement plus cher que l'acier de construction ordinaire, l'acier auto-patinable présente de nombreux avantages économiques. Les frais de protection supplémentaire contre la corrosion sont éliminés. Ceci concerne non seulement le prix de revient du matériau et de



1.1_Chicago Picasso (US) - Pablo Picasso

l'application, mais aussi celui des échafaudages et de l'entretien. Les qualités esthétiques propres à la patine font également de l'acier auto-patinable un matériau unique que les architectes et les artistes apprécient de plus en plus. Enfin, puisque la peinture anti-corrosion est superflue, plus aucune matière volatile n'est émise. Lors de l'entretien, le décapage n'est plus nécessaire et, lors du recyclage, il n'y a plus de déchets de peinture.

Les États-Unis ont été les premiers à utiliser l'acier auto-patinable, en particulier dans les ponts, bâtiments, cheminées et mâts. En 1960, l'architecte Eero Saarinen a conçu le siège central de John Deere à Moline (Illinois, États-Unis) dont la façade était entièrement réalisée en acier auto-patinable. C.F. Murphy & Ass. a également utilisé l'acier auto-patinable dans la façade de l'immeuble de bureaux Chicago Civic Center (Illinois, USA) en 1966. L'œuvre d'art qui se trouve à l'entrée de ce bâtiment est un cadeau offert en 1967 par Pablo Picasso à la ville de Chicago. La sculpture fait 15 m de haut et pèse 162 tonnes. Elle a également été réalisée en acier auto-patinable. Le plus grand pont du monde en acier auto-patinable se trouve aussi aux États-Unis: le New River Gorge Bridge, en Virginie Occidentale, est un pont en arc d'une travée de 518 m construit en 1977.

Cette nuance d'acier, présentant des caractéristiques réellement exceptionnelles, s'est rapidement répandue en Europe, où elle a acquis sa renommée sous la dénomination Cor-Ten. Ce nom a été breveté en 1933 par U.S. Steel. Depuis lors, presque tous les producteurs d'acier ont englobé l'acier auto-patinable dans leur gamme, si bien qu'il est aujourd'hui erroné de désigner tous les aciers auto-patinables sous la simple appellation Cor-Ten.

Dès les années 1970, l'acier auto-patinable a été appliqué en Europe dans pratiquement toutes les typologies de constructions: halls industriels, immeubles de bureaux, citernes, grues, mâts, cheminées, conteneurs, sans oublier bien entendu les ponts.

Comme souvent lors de l'utilisation de nouveaux matériaux, certains dommages ont pu être constatés après quelques années sur l'acier auto-patinable. Après examen, il s'est avéré que les causes étaient très diverses. En fait, l'idée première était qu'après quelques années l'acier auto-patinable ne rouillait plus. Mais, dans la pratique, tel n'est visiblement pas le cas. En outre, le concepteur, et en premier lieu l'architecte, ne concevait pas toujours les bons détails de construction. Ainsi, il est apparu clairement que l'utilisation d'acier auto-patinable exige que l'eau ne puisse pas stagner.



1.2_Royale Belge (BE) - R.Stapels et P. Dufau



1.3_Royale Belge (BE) - R.Stapels et P. Dufau

Il faut partout un bon écoulement et une bonne évacuation de l'eau. Il en va de même au niveau des joints, des raccords et des chevauchements de revêtements de façades. Depuis lors, des études approfondies sur ces aspects essentiels de conception ont été réalisées dans un grand nombre de pays et ont permis de constituer une solide expérience dans ce domaine. Toutes les questions importantes ont ainsi pu trouver une réponse définitive, et une série de détails-types ont été élaborés.

Du point de vue technologique (métallurgique), des études toujours plus poussées sont réalisées aujourd'hui encore pour obtenir une meilleure connaissance du comportement des aciers auto-patinables et des mécanismes responsables de leur caractéristique. Des expériences ont notamment été réalisées sur l'élément d'alliage titane (Ti) et de plus grandes quantités de nickel (Ni).

De nos jours, l'acier auto-patinable peut être utilisé de façon plus sûre et offre de très nombreux avantages. Ce guide donne à l'utilisateur un aperçu de toutes les informations indispensables à la bonne conception. Quantité d'exemples divers illustrent son utilisation polyvalente.

2_Aciers auto-patinables

2.1 Composition chimique et caractéristiques mécaniques

Auparavant, les aciers auto-patinables étaient classés dans la catégorie des aciers inoxydables (voir la norme EN 10020 [1]). En fait, cette nomenclature ne correspond pas à la réalité. Contrairement à l'acier inoxydable, l'alliage d'un acier auto-patinable est beaucoup moins important. Ce matériau n'est donc pas beaucoup plus cher que les aciers de construction ordinaires. Jusqu'en 2004, la norme européenne de produit de l'acier auto-patinable était la norme EN 10155. Cette dernière a été remplacée depuis début 2005 par la norme EN 10025-5 [2] qui doit être utilisée avec la norme EN 10025-1 [3].

Le tableau 1 reprend les principales caractéristiques chimiques des aciers auto-patinables (décrites dans la norme européenne de produit). Il existe deux types d'acier auto-patinable. Le premier type contient une haute teneur en phosphore ($0,06\% \leq P \leq 0,15\%$), ce qui en limite la soudabilité. Dans la pratique, ce type ne convient pas pour des épaisseurs supérieures à 12 mm. Il est principalement utilisé pour les revêtements de façade et les cheminées. Dans certains pays, dont l'Allemagne, son utilisation est cependant interdite [4]. Dans le deuxième type, une teneur inférieure en phosphore ($P \leq 0,035\%$) est compensée par une teneur plus importante en manganèse (Mn) et par l'addition notamment de vanadium (V) et de niobium (Nb). Le Cor-Ten A correspond au premier type, le Cor-Ten B au second. Les deux types possèdent un taux équivalent en carbone, légèrement plus élevé que celui d'un acier de construction normal.

La désignation est entièrement identique aux nuances d'aciers de construction ordinaires. Les lettres WP ou W y sont ajoutées, pour indiquer qu'il s'agit d'acier auto-patinable du premier ou du deuxième type.

Différents producteurs d'acier ont développé leurs propres aciers auto-patinables. Dillinger Hütte GTS et Usinor, appartenant tous deux au groupe Arcelor, exploitent par exemple la dénomination commerciale Diweten et Indaten. Diweten 235 et 355 correspondent aux types d'acier S235J2W et S355K2W selon la norme EN 10025-5. Ils sont tous deux disponibles en tôles d'une épaisseur allant jusqu'à 150 mm. Indaten 355A correspond au S355J0WP, disponible jusqu'à 15 mm. Corus, qui possède une licence pour utiliser la dénomination de Cor-Ten (A et B), propose également des tôles et des profils dans sa gamme de produits.

Tableau 1 : Composition chimique des aciers auto-patinables selon le tableau 2 de la norme EN 10025-5

nuance d'acier		composition chimique (%)								
désignation		C max.	Si max.	Mn	P	S max.	N max.	Cr	Cu	Ni max.
selon EN 10027-1	selon EN 10027-2									
S235J0W	1.8958	0,13	0,40	0,20 à 0,60	max. 0,035	0,035	0,009	0,40 à 0,80	0,25 à 0,55	0,65
S235J2W	1.8961					0,030	-			
S355J0WP	1.8945	0,12	0,75	max. 1,0	0,06 à 0,15	0,035	0,009	0,30 à 1,25	0,25 à 0,55	0,65
S355J2WP	1.8946					0,030	-			
S355J0W	1.8959	0,16	0,50	0,50 à 1,50	max. 0,035	0,035	0,40 à 0,80	0,25 à 0,55	0,65	
S355J2W	1.8965				max. 0,030	-				
S355K2W	1.8967				max. 0,030	-				

Tableau 2: Propriétés mécaniques de l'acier auto-patinable selon EN 10025-5

nuance d'acier	limite élasticité minimale (N/mm ²)						résistance à la traction (N/mm ²)			valeur résilience minimale	
	épaisseur nominal (mm)						épaisseur nominal (mm)			en direction de longueur (b) (c)	
selon EN 10027-1	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	< 3	> 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	température (�C)	�nergie minimale (J)
S235J0W S235J2W	235	225	215	215	215	195	360 à 510	360 à 510	350 � 500	0 -20	27 27
S355J0WP S355J2WP	355 (a)	345 (a)	-	-	-	-	510 à 680	470 � 630 (a)	-	0 -20	27 27
S355J0W S355J2W S355K2W	355	345	335	325	315	295	510 à 680	470 à 630	450 à 600	0 -20 -20	27 27 40 (d)

(a) pour produits plats : valable jusqu'à 12 mm

pour produits longs : valable jusqu'à 40 mm

(b) valeurs minimales de résilience sur échantillons de 10 mm d'épaisseur

(c) pour l'acier WP, les valeurs de résilience sont à convenir lors de la commande

(d) cette valeur correspond à 30 J à -30 C



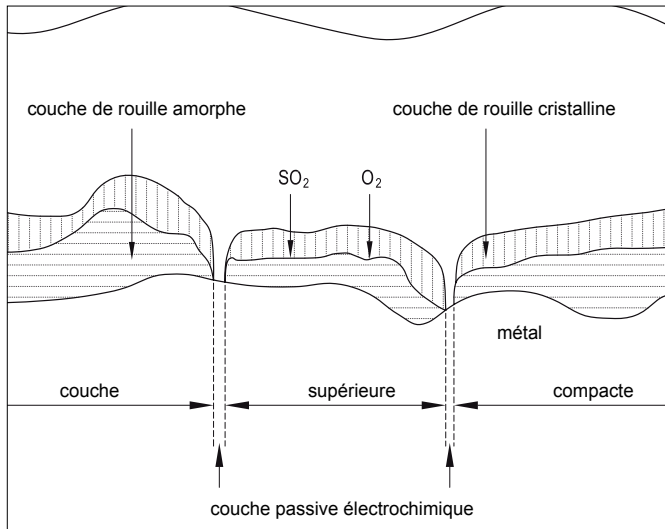
La limite d'élasticité minimale et la résistance à la traction ainsi que les valeurs de résilience prescrites ne sont pas différentes de celles des aciers de construction non alliés. Ces valeurs sont reprises dans le tableau 2.

Aux  tats-Unis ainsi qu'au Japon, il existe déjà des aciers auto-patinables sous forme de tôles présentant une limite d'élasticité supérieure à 500 N/mm².

2.2 Résistance à la corrosion

Il convient d'opérer une distinction entre une surface d'acier exposée directement ou indirectement à l'humidité (par exemple la pluie). Les surfaces indirectement exposées peuvent être mouillées par la condensation ou par un haut degré d'humidité (> 60%). Les surfaces directement exposées présentent après un certain temps déjà une couleur brun foncé. En cas d'exposition indirecte, la patine est généralement d'une couleur plus claire et plus homogène. Le degré d'aération est co-déterminant dans la plupart des cas.

La grande différence entre les nuances d'aciers de construction non alliés et l'acier auto-patinable est que, pour les aciers traditionnels, la couche d'oxydation qui intervient après un certain laps de temps se détache de la surface du métal, si bien que le processus d'oxydation recommence à chaque fois et que la diminution d'épaisseur due à l'oxydation se poursuit de façon plus ou moins linéaire dans le temps. Pour les aciers auto-patinables, la couche d'oxydation est beaucoup moins poreuse et adhère mieux à la surface du métal. Il est généralement admis que ce phénomène est dû aux éléments d'alliage Cr et Cu. Une dizaine d'années peuvent s'écouler avant que cette couche couvrante ne soit entièrement formée. Elle est souvent qualifiée d'amorphe (bien qu'une étude récente ait démontré qu'elle est plutôt nanocristalline), si bien que l'oxygène, l'humidité et le dioxyde de soufre ne provoquent plus de corrosion majeure. C'est cette couche qui offre la réelle protection. Cependant, elle n'adhère pas aussi bien que la couche d'oxyde des alliages, par exemple, d'aluminium. La couche d'oxydation n'est pas non plus tout à fait uniforme. À certains endroits, elle présente de microfissures invisibles à l'œil nu. Outre la couche d'oxydation passive, l'acier est donc ponctuellement en contact direct avec l'air extérieur. Ces points



Représentation schématique de la couche d'oxydation d'une surface d'acier auto-patinable exposée

restent alors passifs (et ne rouilleront pas), pour autant que la surface soit exposée à des alternances périodiques d'humidité et de sécheresse permettant à la couche protectrice d'oxydation de se former. Dans un climat d'humidité prolongée (sans périodes de sécheresse intermédiaires), l'utilisation de l'acier auto-patinable est donc à déconseiller. Le climat de la Belgique, des Pays-Bas et de la France n'entre cependant pas dans cette catégorie, mais il reste de première importance que les constructions en acier auto-patinable ne restent pas humides pendant de longues durées, en tout ou en partie. Par ailleurs, si les surfaces sont constamment sèches, la couche d'oxydation protectrice ne pourra pas se former. Mais, en pareil cas, elle n'est pas non plus réellement nécessaire.

Il convient de souligner que, même après la formation de la patine, le processus de corrosion n'est pas définitivement achevé. Pendant les premières années, la formation de rouille va se produire assez rapidement. Ensuite, elle ralentit sensiblement.

Au début, la couleur de l'acier auto-patinable est assez semblable à celle de la rouille de l'acier normal, à savoir d'un brun orange clair typique. Après un délai plus ou moins long, la teinte devient plus foncée. Différents facteurs déterminent la vitesse à laquelle la couche d'oxydation se stabilise ainsi que la couleur finale. En milieu industriel, le processus se terminera plus rapidement (après environ 18 mois) qu'en milieu rural (après environ 3 ans). Pour les surfaces exposées au soleil, la couleur et la texture finales de l'acier seront généralement plus claires et homogènes.

Pour obtenir une surface plus rapidement uniforme, il est important d'éliminer toute calamine, graisse, et autres marques de craie ou eau de ciment. Une différence de température ou d'évacuation de l'eau de pluie engendrera également des différences de teinte. Pour les surfaces indirectement exposées, il est important qu'une condensation éventuelle ne crée pas d'humidité constante. Celle-ci occasionnerait en effet une oxydation de l'acier auto-patinable identique à celle de l'acier de construction non allié.

Evolution de la couleur de l'acier auto-patinable ...>

