

Protection des constructions en acier contre la corrosion

par **Jean-Pierre BOUILLETTE**

Ingénieur de l'École Spéciale des Travaux Publics

Ingénieur à l'Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier (OTUA)

1. Notions de corrosion	C 2505 – 2
1.1 Nature de la corrosion.....	— 2
1.2 Milieux corrosifs	— 2
1.2.1 Corrosion atmosphérique	— 2
1.2.2 Corrosion par l'eau	— 3
1.2.3 Corrosion par les sols.....	— 3
2. Moyens de protection	— 3
2.1 Peintures antirouille	— 3
2.1.1 Liants	— 5
2.1.2 Pigments.....	— 5
2.1.3 Solvants et plastifiants	— 6
2.1.4 Systèmes de peintures.....	— 6
2.1.5 Préparation des surfaces.....	— 8
2.1.6 Modes d'application	— 8
2.2 Produits sidérurgiques revêtus	— 8
2.2.1 Produits protégés par le zinc	— 8
2.2.2 Produits protégés par l'aluminium.....	— 9
2.2.3 Tôles prélaquées. Tôles plastifiées.....	— 10
2.2.4 Produits grenaillés et peints	— 10
2.3 Revêtements divers.....	— 10
2.4 Aciers inoxydables	— 10
2.5 Aciers faiblement alliés à résistance améliorée à la corrosion.....	— 10
3. Mesures à prendre dès la conception des ouvrages	— 10
4. Entretien. Réparations.....	— 11

Comme tous les matériaux de construction, l'acier tend à se dégrader superficiellement lorsqu'il est soumis à des milieux corrosifs, atmosphères humides, eaux, sols.

C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de le protéger dans la plupart des cas, ou bien de lui assurer une auto-protection (acières inoxydables, aciers à résistance améliorée à la corrosion).

L'acier entre dans les constructions métalliques sous des formes différentes qui ne seront pas protégées de la même façon (profilés laminés à chaud pour les ossatures, tôles formées à froid pour les éléments plans : façades, couvertures, planchers, équipements). De plus, tous ces produits ne seront pas soumis aux mêmes conditions d'agressivité. Enfin, les taux de corrosion ne sont pas identiques dans toutes les atmosphères et, de ce fait, les moyens de protection varieront.

Il n'est pas possible de développer ici une théorie complète sur la corrosion ni sur les différents procédés de protection ; aussi, ne pourrons-nous que les aborder d'une manière générale et nous conseillons aux lecteurs de consulter les organismes et la littérature spécialisés dans ces domaines ainsi que les Publications OTUA.

1. Notions de corrosion

On se reportera utilement aux articles *Corrosion en milieu aqueux des métaux et alliages* [M 150], réf. [1] et *Métaux et alliages passifiables. Règles de choix et emploi type* [M 153], réf. [1].

1.1 Nature de la corrosion

Pour l'acier, la corrosion se traduit par la formation de *rouille*. Ce produit, composé d'oxydes plus ou moins hydratés, ne se forme qu'en présence d'oxygène et d'eau à température ordinaire. Cette corrosion est dite *aqueuse* et c'est la forme la plus fréquemment rencontrée en construction métallique.

D'autres formes de corrosion peuvent se manifester dans des conditions particulières, mais elles n'entrent pas dans le cadre de cet article.

La corrosion est un phénomène électrochimique ; cela signifie qu'il se crée des piles à la surface de l'acier, dans lesquelles une des électrodes, l'anode, se consomme au bénéfice de l'autre, la cathode, qui reste intacte. L'électrolyte est constitué par l'eau, plus ou moins conductrice et oxygénée.

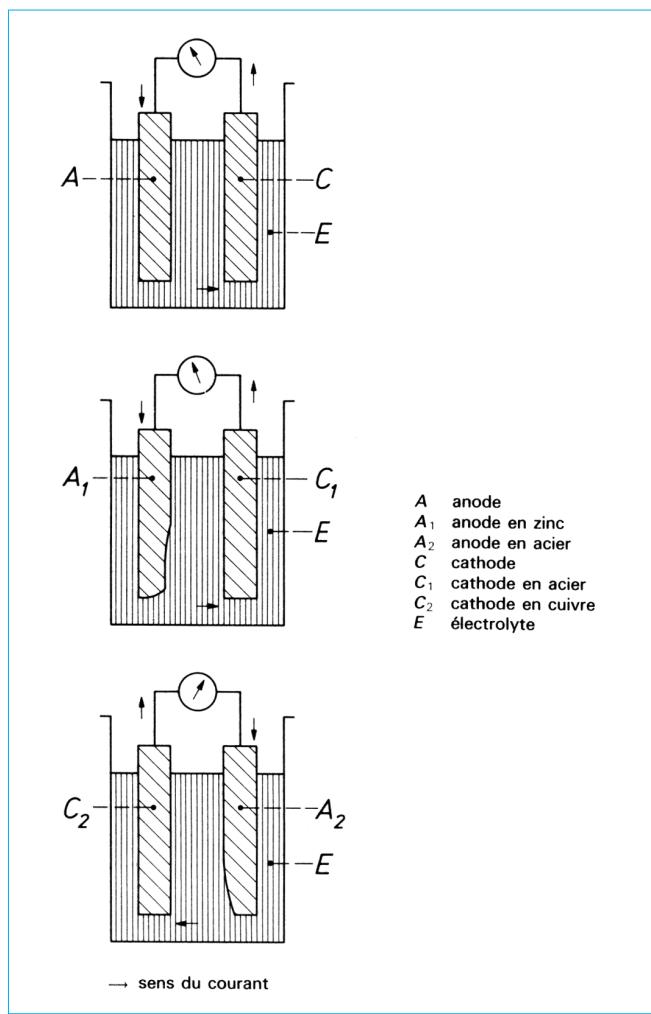


Figure 1 – Création de couples galvaniques

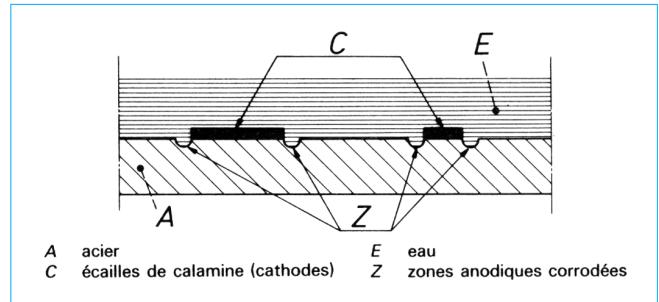


Figure 2 – Couple galvanique calamine-acier

Dans la pratique, ces piles se forment dès qu'il y a hétérogénéité à la surface de l'acier et qu'il se crée des zones anodiques et des zones cathodiques. Ces piles se forment également lorsque l'acier est relié à un autre métal en présence d'un électrolyte (couples galvaniques) (figure 1).

Ainsi, chaque fois que l'acier se trouvera en position anodique, il se corrodera ; au contraire, en position cathodique, il restera intact.

Ce phénomène se produit fréquemment lorsque les surfaces d'acier sont recouvertes par des écaillles de calamine ou de rouille qui sont cathodiques par rapport à leur support.

À ce propos, il faut noter la *différence fondamentale qui existe entre la rouille et la calamine* : alors que la rouille se forme en présence d'humidité et d'air, à température ordinaire, la calamine est une couche d'oxydes qui apparaît à haute température lors de l'élaboration et de la transformation de l'acier ; elle a une couleur bleuâtre caractéristique ; il est impératif de l'éliminer totalement avant tout revêtement de l'acier (figure 2).

1.2 Milieux corrosifs

Les milieux corrosifs les plus courants sont l'atmosphère, l'eau et les sols. L'eau de mer et l'eau douce sont suffisamment chargées en sels pour être des éléments actifs des piles de corrosion, au contact de l'acier nu. L'eau de pluie et l'eau de condensation de l'humidité atmosphérique ne sont pas chargées de sels et leurs conductivités électriques sont faibles. Cependant, lorsque l'atmosphère contient des impuretés telles que du dioxyde de soufre (SO_2), du dioxyde de carbone (CO_2), des chlorures en bord de mer, et autres composés, l'eau de pluie ou de condensation s'en trouve chargée, devient conductrice et, par suite, peut favoriser la corrosion (figure 3).

De la même manière, les sols peuvent être considérés comme des électrolytes lorsqu'ils renferment de l'eau.

L'eau étant un des éléments nécessaires à la corrosion, il est évident que les structures en acier exposées à l'atmosphère, occasionnellement au contact de l'eau (pluie, condensation), subiront une corrosion moindre que celles constamment ou surtout alternativement immergées et émergées.

1.2.1 Corrosion atmosphérique

Plusieurs facteurs interviennent dans le processus de la corrosion atmosphérique :

— facteurs climatologiques : température, ensoleillement, vitesse et direction des vents, hauteur des précipitations et surtout humidité relative (HR) ;

— nature et teneur en agents agressifs de l'atmosphère, SO_2 , CO_2 , chlorures qui la rendent plus ou moins polluée.

Au-dessous d'une humidité relative de 60 %, on peut considérer que la corrosion de l'acier est nulle, mais elle devient importante au-dessus de 80 %. Les atmosphères peuvent être classées en fonc-

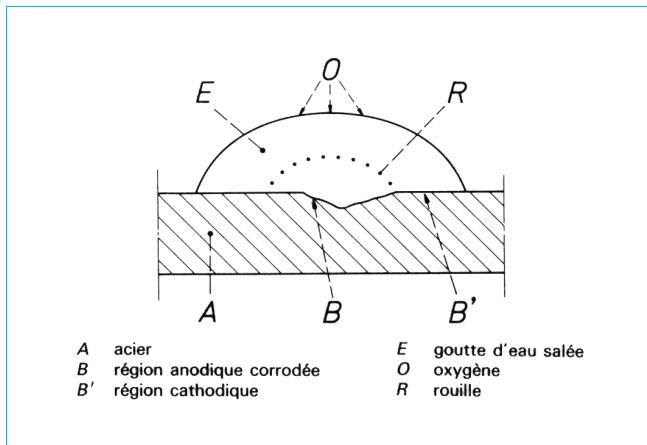


Figure 3 – Corrosion par aération différentielle

tion de leur agressivité vis-à-vis de l'acier et de la nature des agents corrosifs qu'elles renferment :

- atmosphères rurales ;
- atmosphères industrielles ;
- atmosphères marines.

L'atmosphère urbaine, polluée par différents gaz, se rapproche de l'atmosphère industrielle.

La figure 4 donne un ordre de grandeur de l'importance des taux de corrosion d'un acier dans ces différentes atmosphères. À l'intérieur des bâtiments, lorsque l'atmosphère est maintenue à un taux d'humidité relative voisin de 60 % par chauffage, ventilation ou climatisation, les risques de corrosion sont minimes, voire nuls.

Par contre, dans certains locaux tels que les cuisines, salles d'eau, buanderies, etc., l'humidité relative peut être importante et les surfaces d'acier doivent être efficacement protégées.

De même, à l'intérieur de certains bâtiments à usage spécial, tels que les bâtiments d'élevage, de stockage, les laiteries, certains ateliers, des émanations acides ou alcalines, des solvants volatils ou tous autres produits agressifs, combinés à la vapeur d'eau, peuvent se condenser sur les parties métalliques et les corroder.

1.2.2 Corrosion par l'eau

Excepté dans certaines constructions particulières (travaux portuaires, off-shore, pipe-lines, etc.), les structures métalliques dans le bâtiment ne sont pas immergées ou soumises à l'action de l'eau de manière permanente.

En règle générale, les problèmes concernant les structures immergées ou véhiculant de l'eau sont complexes et devront être résolus par des spécialistes.

1.2.3 Corrosion par les sols

La nature des sols, acides ou alcalins, leur humidité, leur perméabilité à l'air (sols compacts ou remblais), la présence de bactéries, de courants vagabonds, sont autant de facteurs influençant la vitesse de corrosion des structures enterrées.

Dans les sols compacts, neutres ou alcalins, les éléments en acier sont peu corrodés ; un renforcement de la protection sera seulement nécessaire à la frontière sol-air.

Par contre, dans les sols acides ou dans certains remblais très perméables, une protection efficace contre la corrosion devra être appliquée sur l'acier.

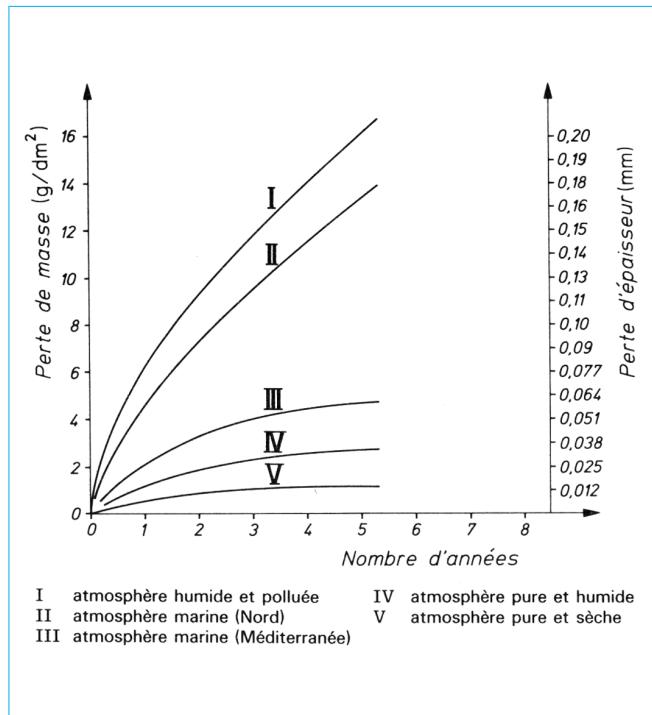


Figure 4 – Taux de corrosion d'un acier dans différentes atmosphères

2. Moyens de protection

Les moyens de protection de l'acier contre la corrosion sont nombreux et variés. Ils sont résumés dans les tableaux 1 et 2.

Nous ne traiterons ici que les principaux moyens qui sont utilisés dans la construction métallique :

- les protections traditionnelles par peintures ;
- les revêtements appliqués en usines sidérurgiques ou dans des ateliers spécialisés ;
- le choix des nuances d'acier résistant à la corrosion (acières inoxydables, aciers à résistance améliorée à la corrosion).

Le choix d'une protection contre la corrosion est régi par différents paramètres qui sont :

- l'agressivité du milieu ambiant ;
- la durée de protection envisagée ;
- les possibilités de mise en œuvre et d'entretien ;
- le coût.

Un bilan économique est à faire entre ces facteurs.

2.1 Peintures antirouille

Les peintures antirouille ont un rôle de protection et parfois de décoration. La protection est assurée soit par une action de nature électrochimique, obtenue par les pigments ou leurs produits de réaction avec l'acier, soit par une isolation de l'acier par rapport au milieu agressif.

Elles sont essentiellement constituées par les liants, pigments, solvants et plastifiants.

Tableau 1 – Résumé synoptique des moyens usuels mis en œuvre contre la corrosion

Classification	Nature	Exemples d'utilisation	Produits sidérurgiques protégés
I. REVÊTEMENTS ISOLANTS DU MILIEU EXTÉRIEUR, APPLIQUÉS SANS MODIFICATIONS NOTABLES DE LA SURFACE DE L'ACIER MISE À VIF OU TRAITÉE			
Revêtements non métalliques	Peintures, vernis, laques et préparations assimilées contenant des substances organiques : huiles siccatives, résines naturelles ou artificielles, plastifiants, solvants, siccifats, etc., séchant à l'air ou au four, qui protègent l'acier contre l'action des intempéries, des eaux naturelles, des atmosphères peu polluées, etc.	Charpentes ou ossatures de bâtiments, ponts, pylônes. Façades légères. Bardages. Mobilier métallique.	Plaques, tôles et profilés grenaillés et prépeints. Tôles prélaquées.
	Enduits de protection temporaire à base de graisses, cires, huiles, cellulose, utilisés durant le temps de stockage ou de transport des matériaux traités.		
	Revêtements organiques de matières plastiques.	Protection renforcée d'éléments de construction contre l'action des agents atmosphériques.	
	Émail vitreux (acier vitrifié) résistant aux intempéries, à la chaleur, aux acides.	Bardages et aménagements intérieurs des bâtiments.	Tôles plastifiées.
Revêtements organo-métalliques	Peintures pigmentées de métaux en poudre ou en lamelles : aluminium, zinc, plomb, acier inoxydable. Peinture au zinc éthyl-silicate.	Ustensiles domestiques, équipement sanitaire. Éléments décoratifs des devantures.	
Revêtements métalliques	Électrodéposition de nickel, de zinc, de cadmium, de cuivre, d'étain, de chrome. Revêtements résistant à l'action des intempéries, à celles de certaines substances chimiques ou alimentaires et à l'usure.	Objets en acier nickelé, chromé, zingué, étamé.	Fer blanc électrolytique. Tôles électrozinguées.
	Immersion dans les métaux fondus : galvanisation, étamage, plombage, aluminage. Revêtements résistant aux intempéries, à la chaleur, à certaines substances chimiques.	Quincaillerie du bâtiment, tôlerie industrielle galvanisée. Couvertures et bardages des bâtiments agricoles, industriels.	Tôles d'acier galvanisées, plombées, étamées, aluminées.
	Projection de métal fondu par pistolet-métalliseur : métallisation au zinc, à l'aluminium, à l'étain, au plomb, aux alliages réfractaires, etc., résistant aux intempéries, aux fortes températures, à l'usure.	Ouvrages d'art, matériels portuaires ou d'usines. Matériels portés à haute température.	
	Réduction chimique : nickelage.	Pièces mécaniques de robinetterie, d'horlogerie.	
	Placage : tôle d'acier plaquée de nickel, ou de cuivre, ou d'acier inoxydable, etc.	Matériels de génie chimique ou parachimique.	Tôles d'acier plaquées.
II. REVÊTEMENTS FORMÉS PAR MODIFICATIONS DE LA SURFACE DE L'ACIER			
Modifications chimiques	Phosphatation, légère ou profonde, suivie de l'application d'un revêtement de peinture.	Après dérouillage et dégraissage, passivation des carrosseries des automobiles, des réfrigérateurs, des machines à laver, des menuiseries métalliques, etc.	
	Phosphatation chromatation.		
	Noircissement et brunissement par oxydation suivie de l'application d'huile ou de graisse, contre les intempéries.		
Modifications physico-chimiques	Cémentation au zinc, à l'aluminium, au chrome ; shéardisation, calorisation, chromisation, contre les intempéries, l'humidité, la chaleur.	Vissérie, boulonnnerie ; matériel de chaufferie ; pièces mécaniques.	
	Traitement thermique des tôles d'acier galvanisées.	Couvertures, bardages et pièces de tôle-rie à assembler par soudure.	Tôles galvanisées à revêtement allié.

Tableau 1 – Résumé synoptique des moyens usuels mis en œuvre contre la corrosion (suite)

Classification	Nature	Exemples d'utilisation	Produits sidérurgiques protégés
III. MODIFICATIONS APPORTÉES AU MILIEU EXTÉRIEUR AGRESSIF VIS-À-VIS DE L'ACIER			
Modifications chimiques ou physiques	Neutralisation chimique du milieu agressif.	Dilution des eaux résiduaires. Aération des combles des ateliers.	
	Addition d'inhibiteurs de corrosion.	Substances ajoutées aux solutions circulant en circuit fermé dans des appareils en acier.	
Modifications électriques	Protection cathodique.	Protection des canalisations enterrées (pipe-lines pétroliers ou gaziers), des portes d'écluses, des coques de bateaux, etc.	
	Passivation anodique.	Protection intérieure des citernes, des échangeurs de température contenant des acides.	
IV. ADDITIONS DANS L'ACIER D'ÉLÉMENTS D'ALLIAGE NON FERREUX			
Modifications de la composition du métal par addition	de cuivre, de nickel, de chrome, en faible quantité (inférieure à 5 %) et éventuellement de phosphore, de molybdène, de vanadium.	Tôles et profilés pour ossatures et charpentes des bâtiments et pour le génie civil.	Aciers faiblement alliés à résistance améliorée contre la corrosion (acières patinables).
	de chrome, de nickel : — aciers ferritiques à 17 % de chrome ; — aciers austénitiques à 18 % de chrome et 8-10 % de nickel.	Tôles et profilés pour les éléments du second œuvre du bâtiment (couvertures, bardages, fenêtres, etc.). Matériels pour l'industrie chimique, pour l'industrie pétrolière, pour les industries alimentaires, etc.	Aciers inoxydables.

Tableau 2 – Cas particuliers de protection

Protection contre :	Éléments à protéger	Exemples de protections
Rayons solaires	Dans les régions à ensoleillement élevé, les rayons ultraviolets (UV) peuvent détruire certains liants.	Choisir des peintures de finition contenant des pigments lamellaires : mica, oxyde de fer micacé, graphite lamellaire, poussière d'aluminium, etc.
Usure	Éléments soumis à des frottements : — marches d'escaliers ; — mains courantes ; — frottements répétés.	Choisir en dernière couche des peintures contenant des charges de haute dureté : ocres, ardoises, kieselguhr, carbure de calcium, etc. ; ou bien utiliser des liants caoutchoutiques et/ou époxydiques. Pour les frottements répétés, choisir plutôt des revêtements métalliques (y compris peintures riches en zinc).
Chaleur	Éléments pouvant atteindre des températures relativement élevées : cheminées, par exemple.	Choisir des formulations spéciales, notamment à base de résines de silicium ou de titanate de butyle, pigmentées à la poudre d'aluminium ou de zinc. Résistance jusqu'à 200 °C environ.
Sols	Parties métalliques enterrées dans le sol humide en permanence.	Choisir des revêtements tels que les produits bitumineux, les peintures riches en zinc, les revêtements de zinc, par exemple. Les revêtements à base de ciment protègent également de manière efficace.

2.1.1 Liants

Ce sont les éléments fondamentaux qui permettent d'obtenir le feuil sec ; le séchage et le durcissement du feuil se font de différentes manières suivant la nature du liant (évaporation des solvants et des diluants, oxydation par l'air, transformation chimique : polymérisation par exemple).

Les liants les plus courants sont à base des substances suivantes :

- huiles grasses siccatives ou siccativees ;
- mélanges d'huiles grasses et de résines artificielles ;
- résines de synthèse : vinyliques, acryliques, époxydiques, polyuréthanes, silicones, etc. ;
- caoutchoucs chlorés ou isomérisés ;
- produits bitumineux.

2.1.2 Pigments

Ce sont les constituants solides des peintures ; ils sont formés de particules qui ont généralement un rôle inhibiteur de la corrosion dû à leur activité chimique ou à leur morphologie. Certaines particules peuvent cependant ne pas avoir un rôle spécifiquement antirouille.

Les pigments inhibiteurs de corrosion, généralement placés dans la couche primaire, sont ordinairement à base de plomb, de zinc ou de métaux alcalino-terreux. Parmi les plus usuels, on peut citer :

- le minium ou orthoplombate de plomb ;
- la litharge ;
- la cyanamide de plomb ;
- les chromates et sulfates basiques de plomb ;
- le silicochromate de plomb ;

- le chromate et le tétraoxychromate de zinc ;
- le plombate de calcium ;
- les chromates de baryum et de strontium ;
- la poussière de zinc ;
- la poudre de plomb.

Excepté la poudre de plomb et la poussière de zinc qui ont un mode de protection particulier, les autres pigments jouent un rôle en présence d'un électrolyte ; ils forment des dépôts isolants et insolubles d'hydroxydes ou des sels de plomb ou de zinc.

Avec les acides gras des peintures à l'huile ou des oléoglycérophthaliques, ils forment des savons insolubles qui renforcent l'imperméabilité, la dureté et l'adhérence des feuilles.

La **poussière de zinc** protège l'acier par le phénomène de protection cathodique. Lorsque les deux métaux sont en présence d'un électrolyte, le zinc, qui est anodique par rapport à l'acier, se dissout sacrificiellement au profit de celui-ci. Pour que ce mode de protection soit efficace, il faut que le contact entre les deux métaux soit parfait. Cela implique une *mise à vif* de la surface de l'acier par sablage ou grenaiillage et une importante quantité de zinc dans la peinture.

Les peintures riches en zinc contiennent de 90 à 95 % de poussière de zinc dans le feuil sec.

Les peintures à base de **poudre de plomb** doivent certainement leur pouvoir anti-corrosion à la présence d'une importante quantité d'oxydes de plomb et de savon.

2.1.3 Solvants et plastifiants

En plus des éléments principaux, liants et pigments, les peintures contiennent différents agents destinés à faciliter leur application, leur séchage et leur tenue dans le temps ; ce sont essentiellement les solvants, plastifiants, agents anti-peau, etc.

2.1.4 Systèmes de peintures

Afin d'assurer une protection efficace et durable, les peintures doivent constituer des *systèmes* formés par différentes couches. Un système couramment utilisé comprend une couche primaire de peinture antirouille, une couche intermédiaire et une ou plusieurs couches de finition (tableaux 3 et 4).

Il existe des systèmes dans toutes les familles de peinture ; chacun d'eux a son domaine d'utilisation, selon la nature de l'atmosphère et du climat où est situé l'ouvrage métallique à protéger. En atmosphère rurale peu corrosive, l'épaisseur de peintures est de l'ordre de 80 à 120 µm, alors qu'en atmosphère marine ou industrielle, elle peut atteindre 150 à 200 µm avec les revêtements classiques.

Tableau 3 – Exemples de choix de peintures (non limitatif)

Milieux	Système de peinture (1)			Épaisseur totale µm	Remarques
	Couche primaire	Couche intermédiaire	Couche de finition		
Atmosphère extérieure					
Rurale et urbaine non polluée	P : minium de plomb L : résines alkydes P : chromate de zinc L : résines alkydes P : plomb métal L : résines alkydes	L : résines alkydes L : résines alkydes	L : résines alkydes L : résines alkydes	120 120	
Urbaine polluée Industrielle moyennement agressive	P : minium de plomb L : résines alkydes P : plomb métal L : résines alkydes P : zinc L : résines époxydiques	L : résines alkydes L : résines alkydes	L : résines alkydes L : résines alkydes	160 180 160	Sablage ou grenaiillage nécessaire
Industrielle agressive	P : minium de plomb L : résines alkydes P : chromate de zinc L : résines époxydiques P : minium de plomb L : polyéthylène chloré	L : résines formophénoliques L : résines polyuréthannes L : polyéthylène chloré	L : résines formophénoliques 1 ou 2 couches L : résines polyuréthannes 1 ou 2 couches L : polyéthylène chloré	140 à 180 125 à 170 190 à 200	Sablage ou grenaiillage nécessaire Sablage ou grenaiillage nécessaire

(1) P : pigment antirouille
L : liant

Les pigments des couches intermédiaire et de finition ne sont pas mentionnés ici, leur rôle n'étant pas purement anticorrosion, mais plutôt de renforcement ou de teinte.

Tableau 3 – Exemples de choix de peintures (non limitatif) (suite)

Milieux	Système de peinture (1)			Épaisseur totale μm	Remarques
	Couche primaire	Couche intermédiaire	Couche de finition		
Maritime	P : minium de plomb L : résines alkydes P : zinc L : résines époxydiques P : zinc - oxyde de zinc L : caoutchouc isomérisé	L : résines alkydes L : résines alkydes L : résines alkydes ou caoutchouc isomérisé	L : résines alkydes L : résines alkydes ou caoutchouc isomérisé	150 150 150	Sablage ou grenaillage nécessaire Sablage ou grenaillage nécessaire
Atmosphère intérieure					
Normale (pas de condensation)	P : minium de plomb L : résines alkydes P : chromate de zinc L : résines alkydes		L : résines alkydes L : résines alkydes	80 80	
Humide (condensation, lavages fréquents)	P : plomb métal L : résines alkydes P : poussière de zinc oxyde de zinc L : caoutchouc isomérisé P : chromate de zinc L : résines époxydiques	P : plomb métal L : résines alkydes L : caoutchouc isomérisé L : résines époxydiques	L : résines alkydes L : caoutchouc isomérisé 1 ou 2 couches L : résines époxydiques	150 à 160 110 à 130 110	Sablage ou grenaillage nécessaire Sablage ou grenaillage nécessaire
Acide ou basique (vapeurs, condensation, humidité)	P : chromate de zinc L : résines époxydiques P : minium de plomb L : caoutchouc chloré	L : résines polyuréthannes L : caoutchouc chloré	L : résines polyuréthannes 1 ou 2 couches L : caoutchouc chloré 1 ou 2 couches	125 à 170 110 à 130	Sablage ou grenaillage nécessaire Sablage ou grenaillage nécessaire
(1) P : pigment antirouille L : liant	Les pigments des couches intermédiaire et de finition ne sont pas mentionnés ici, leur rôle n'étant pas purement anticorrosion, mais plutôt de renforcement ou de teinte.				

Tableau 4 – Exemples de revêtements antirouille appliqués sur les éléments en acier des bâtiments en fonction des conditions d'emploi

Conditions d'emploi	Revêtement antirouille traditionnel	Produits sidérurgiques revêtus (1)
Éléments incorporés dans les murs et les planchers, invisibles, protégés par d'autres matériaux et en l'absence d'humidité.	– 1 ou 2 couches de peinture primaire antirouille. 40 à 50 μm d'épaisseur.	• Produits grenaillés et peints avec reconditionnement des zones endommagées après montage. 15 à 20 μm d'épaisseur.
Éléments situés à l'intérieur de locaux sans humidité persistante ou climatisés.	– 1 couche de peinture primaire antirouille. – 1 couche de peinture de finition décorative. 60 à 80 μm d'épaisseur.	• Produits grenaillés et peints – 1 couche de peinture de finition décorative. 60 μm d'épaisseur.
Éléments situés à l'intérieur de locaux où l'humidité est notable ou qui ne sont pas chauffés. Éléments au contact d'une atmosphère extérieure peu agressive : atmosphère rurale.	– 2 couches de peinture primaire antirouille. – 1 couche de peinture intermédiaire. – 1 couche de peinture de finition. 80 à 120 μm d'épaisseur.	• Produits grenaillés et peints plus 1 ou 2 couches de peinture de finition. 80 à 100 μm d'épaisseur. • ou bien produits galvanisés ou prélaqués.

(1) En usines sidérurgiques ou en ateliers spécialisés.

Tableau 4 – Exemples de revêtements antirouille appliqués sur les éléments en acier des bâtiments en fonction des conditions d'emploi (suite)

Conditions d'emploi	Revêtement antirouille traditionnel	Produits sidérurgiques revêtus (1)
Éléments au contact d'une atmosphère extérieure agressive, climats humides, pluvieux, régions urbaines ou industrielles.	<ul style="list-style-type: none"> – 2 couches de peinture primaire antirouille ou bien phosphatation et 1 couche de peinture primaire antirouille. – 1 couche de peinture intermédiaire antirouille. – 1 couche de peinture de finition. 120 à 200 µm d'épaisseur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produits grenaillés et peints plus deux couches de peinture de finition. 100 à 120 µm d'épaisseur. • Produits prélaqués ou galvanisés et peints. • Produits aluminisés.
Éléments au contact de l'atmosphère marine et des embruns.	<ul style="list-style-type: none"> – 2 couches de peinture primaire antirouille, ou mieux, 1 couche de zinc par galvanisation ou métallisation au pistolet. – 2 couches de peinture intermédiaire antirouille. – 1 couche de peinture de finition. Plus de 150 µm d'épaisseur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produits grenaillés et peints : peinture riche en zinc. Plus 2 ou 3 couches de peinture riches en zinc. • ou bien galvanisation ou métallisation au pistolet plus peinture riche en zinc. • Produits prélaqués.

(1) En usines sidérurgiques ou en ateliers spécialisés.

2.1.5 Préparation des surfaces

La préparation de la surface à peindre consiste en un nettoyage qui met la surface en condition pour recevoir une première couche de peinture. Quel que soit le procédé mis en œuvre pour faire ce nettoyage, la surface de l'acier doit finalement être propre, sèche et dépoussiérée. En particulier, il est absolument nécessaire d'éliminer la calamine qui présente un aspect bleuâtre et se poli sous l'action de certains outils, tels que les brosses métalliques, en donnant une surface apparemment propre et adhérente ; en réalité, cette couche d'oxydes finira par se détacher en entraînant le revêtement antirouille.

Un excellent moyen de faire disparaître la calamine est de laisser les produits bruts de laminage exposés aux intempéries pendant quelques mois, la formation de rouille faisant alors tomber les écailles de calamine.

Après la préparation de surface, il importe de faire l'application de la peinture dans le plus court délai, car la surface d'acier mise à nu est très sensible à l'oxydation.

Différents procédés, mécaniques ou chimiques, sont utilisés suivant l'état de surface initial du sujet et l'état final que l'on doit obtenir. Suivant le type de peinture qui sera appliquée, le degré de soin de la préparation de surface sera différent.

Parmi les procédés le plus couramment utilisés, nous citerons les suivants :

- piquage au marteau et grattage ;
- brossage, manuel ou mécanique (brosses métalliques) ;
- sablage (abrasif contenant moins de 5 % de silice) ;
- grenaillage ;
- décapage chimique ;
- brûlage.

Ces différents procédés ne donnent pas le même résultat final et il convient de consulter les ouvrages spécialisés, les publications OTUA ainsi que les fabricants de peinture.

2.1.6 Modes d'application

L'application des peintures se fait de plusieurs façons suivant différents critères, tels que nature des liants, lieu d'application, degré de protection recherché et équipement disponible.

Les plus usuels sont :

- la brosse (pinceau) ;
- le rouleau ;
- la pulvérisation (au pistolet avec ou sans air) ;
- le trempé.

Quel que soit le procédé utilisé, nous rappellerons qu'il est déconseillé de peindre par temps humide (HR > 80 %), sous une insolite directe ou par température trop basse (< 5 °C), sauf pour certaines formulations spéciales prévues à cet effet.

2.2 Produits sidérurgiques revêtus

Outre les revêtements traditionnels de peintures, généralement appliqués sur chantier, un certain nombre de moyens de protection sont appliqués sur les produits sidérurgiques soit en usines, soit dans des ateliers spécialisés ; cela permet une diminution importante des travaux sur chantier, une garantie quant à la qualité des traitements de surfaces et l'application des revêtements (ces opérations sont mieux effectuées en atelier que sur chantier).

L'utilisation de ces produits n'implique qu'un reconditionnement des zones où le revêtement aurait pu être détérioré pendant les opérations d'usinage, d'assemblage, de transport et de montage ; éventuellement, une protection complémentaire peut être appliquée sur le chantier, sur l'ouvrage terminé.

Parmi les produits sidérurgiques déjà protégés contre la corrosion, nous citerons les plus courants, à savoir (tableaux 1 et 4) :

- les produits protégés par le zinc : galvanisés, électrozingués, métallisés, shérardisés, revêtements alliés ;
- les produits protégés par l'aluminium ;
- les produits prélaqués ou plastifiés ;
- les produits grenaillés et peints.

2.2.1 Produits protégés par le zinc

Quelle que soit la manière dont on forme le revêtement de zinc sur la surface d'acier, son pouvoir protecteur contre la corrosion s'exerce avec la même efficacité ; il est fonction de l'épaisseur de zinc déposée.

2.2.1.1 Galvanisation à chaud. Tôle d'acier galvanisée

On se reportera à l'article *Galvanisation à chaud* [COR 1 534], réf. [3].

■ **Galvanisation à façon** : les objets galvanisés à chaud sont immergés dans un bain de zinc en fusion et sont recouverts d'une masse de zinc dont la valeur peut varier de 350 à 1 000 g/m² (50 à 140 µm d'épaisseur).

La température du bain, la durée d'immersion et d'autres facteurs permettent aux galvanisateurs de faire varier l'épaisseur de zinc.

Les objets ainsi protégés sont variés, depuis ceux formés d'une seule pièce (boulonnerie, ferrures, etc.) jusqu'à ceux formés par assemblage (éléments de charpente métallique, pylônes, etc.), en passant par les profils creux (tubes), les fils d'aciers et les articles ménagers.

■ Galvanisation en continu. Tôle d'acier galvanisée : les produits sidérurgiques recouverts sont seulement les produits plats : tôles minces et moyennes, connues sous le nom de tôles d'acier galvanisées en continu. Elles sont livrées à l'état de bobines ou de feuilles. La masse nominale de zinc peut varier de 100 à 625 g/m² double face (7 à 44 µm sur chaque face).

La tôle d'acier galvanisée en continu peut être pliée ou emboutie sans détérioration du revêtement de zinc.

En ce qui concerne les moyens d'assemblage, ils peuvent être classés en trois catégories :

- les assemblages mécaniques : vis, boulons, agrafes, etc. (cf. article *Assemblages par éléments filetés* [B 5 560], réf. [4] et [B 5 565], réf. [5] ;
- le soudage : soudage électrique par résistance, soudobrasage à la flamme oxyacétylénique, soudobrasage et soudage à l'arc (cf. article *Soudage et soudabilité métallurgique des métaux* [M 715], réf. [6] ;
- le collage (cf. article *Colles et adhésifs* [C 960], réf. [7] et [C 961], réf. [8]).

Certaines opérations de soudage pouvant détruire localement le revêtement de zinc, il importe de rétablir la continuité de celui-ci par l'application locale d'une couche de peinture riche en zinc.

Les produits galvanisés peuvent être peints, moyennant certaines précautions, soit pour améliorer la résistance à la corrosion, soit dans un souci d'esthétique.

La tôle d'acier galvanisée est largement utilisée dans le secteur du bâtiment, en particulier pour faire les éléments de couverture, de bardage ou de façade, de plancher.

On peut également trouver sur le marché des éléments d'ossature légère en tôle d'acier galvanisée, des menuiseries, des cornières et autres profilés.

2.2.1.2 Métallisation au pistolet

On se reporterà à l'article *Revêtements par projection thermique* [M 1 645], réf. [9].

Cette technique est utilisée généralement par des entreprises spécialisées. Elle consiste à projeter sur les surfaces d'acier, préalablement préparées, du zinc en fusion au moyen d'un pistolet métalliseur. L'épaisseur du revêtement, facilement contrôlée par l'opérateur, varie généralement de 40 à 150 µm.

La couche de zinc appliquée par métallisation est légèrement poreuse et doit, dans la majorité des cas, être colmatée par application d'une peinture réactive. Sa structure est très favorable à l'accrochage des peintures qui accroissent alors la durée de protection contre la corrosion.

2.2.1.3 Zingage électrolytique (electrozingage)

Les revêtements électrolytiques sont appliqués soit sur des pièces d'acier de dimensions réduites (serrurerie, visserie par exemple) compatibles avec celles des cuves d'électrolyse, soit sur des feuilles ou des bobines d'acier, en usines sidérurgiques.

Les bandes de tôle sont découpées en feuilles, à la demande du client.

L'épaisseur du revêtement de zinc varie d'ordinaire de 2,5 à 5 µm par face. Des revêtements d'épaisseurs supérieures (7,5 à 10 µm) et des revêtements différentiels (épaisseurs différentes sur chaque face) peuvent être déposés.

Le dépôt de zinc est suivi d'un traitement de passivation. Le revêtement de zinc et la couche de passivation donnent à la tôle électrozinguée les propriétés suivantes :

- protection antirouille des tôles au cours du stockage ;

- pas de modification des caractéristiques d'emboutissage des tôles de base ;

- aptitude à recevoir des couches de peinture antirouille sans aucune préparation de surface particulière, si ce ne sont un dépoussiérage et un dégraissage éventuels.

Les opérations de mise en œuvre sont les mêmes que celles de la tôle nue.

2.2.1.4 Tôle d'acier à revêtement allié

Un traitement thermique de diffusion du zinc est appliqué aux tôles d'acier galvanisées en usines sidérurgiques. Il permet d'obtenir un nouveau produit appelé tôle d'acier galvanisée à revêtement allié (fer-zinc). La surface des tôles traitées est passivée par chromation. Ce revêtement est avantageux lorsque des soudures par points sont à exécuter car l'alliage superficiel fer-zinc présente une très bonne soudabilité.

L'aspect de surface du revêtement est gris mat. Il est facilement recouvert de peinture.

2.2.1.5 Shérardisation

Il s'agit d'un traitement de cémentation au zinc appliquée à des pièces de petites dimensions (boulonnerie, visserie, par exemple).

La shérardisation n'apporte pas de modifications dimensionnelles importantes aux pièces traitées et la couche superficielle riche en zinc protège efficacement l'acier contre l'action des intempéries et de l'humidité du sol par exemple.

Les pièces ainsi traitées peuvent également subir une passivation qui leur donne une couleur brune.

2.2.2 Produits protégés par l'aluminium

Comme le zinc, l'aluminium protège l'acier contre la corrosion selon un processus électrochimique.

Trois procédés d'aluminage sont d'usage courant et sont appliqués soit en usine sidérurgique, soit en ateliers spécialisés.

2.2.2.1 Aluminage à chaud

On se reporterà à l'article *Galvanisation et aluminage* [M 1 536], réf. [15].

Le revêtement est obtenu par immersion momentanée des objets un acier dans un bain d'aluminium, ou d'alliage d'aluminium, fondu.

S'il s'agit de tôles d'acier en bande, le procédé d'aluminage à chaud est continu. Il est mis en œuvre dans les usines sidérurgiques et les produits ainsi revêtus sont appelés tôles d'acier aluminierées.

La couche d'aluminium protège bien l'acier contre l'action de l'atmosphère humide et en particulier de celle contenant des impuretés sulfurées : dioxyde de soufre, sulfure d'hydrogène (atmosphères industrielles).

Elle résiste également bien aux températures élevées (cheminées). La tôle d'acier aluminierée est utilisée dans le secteur du bâtiment sous forme d'éléments de toiture ou de bardage, de fermetures, de conduits d'aération ou de ventilation pour les ateliers ou l'industrie agricole par exemple.

Elle peut être peinte moyennant certaines précautions de préparation de surface.

Des tubes et des fils sont également protégés contre la corrosion par un revêtement obtenu par aluminage à chaud.

2.2.2.2 Métallisation au pistolet

La métallisation par projection d'aluminium, ou d'alliages d'aluminium fondu, au pistolet métalliseur, est effectuée couramment pour résister aux atmosphères polluées mentionnées précédemment.

De la même manière que pour le zinc, l'aluminium projeté suivant cette technique peut être colmaté et peint.

2.2.2.3 Calorisation

C'est un traitement thermochimique de diffusion de l'aluminium dans l'acier. Il est appliqué essentiellement à de petites pièces devant résister à la corrosion à température élevée (brûleurs par exemple).

2.2.3 Tôles prélaquées. Tôles plastifiées

On se reportera aux articles *Traitements de surface des métaux avant peintures* [M 1 500], [M 1 501], réf. [11] et *Tôles d'acier prélaquées* [M 1 509], réf. [12].

Il existe un grand choix de tôles minces (0,4 à 1,5 mm d'épaisseur) recouvertes de peinture en continu cuite au four, appelées *tôles prélaquées*, et les mêmes recouvertes d'une feuille de matière plastique par contre-collage, dites *tôles plastifiées*.

Ces tôles sont produites par les usines sidérurgiques et présentent une grande variété quant à la nature des peintures qui leur sont appliquées, leur épaisseur et leurs coloris. Leurs deux faces peuvent même ne pas recevoir le même traitement.

Leur résistance à la corrosion est supérieure à celle des tôles galvanisées. Le choix du revêtement qu'elles ont reçu s'effectue suivant le milieu dans lequel elles seront exposées.

Toutes les opérations habituelles de mise en œuvre peuvent leur être appliquées moyennant certaines précautions pour éviter de détériorer leur revêtement.

2.2.4 Produits grenaillés et peints

On se reportera aux articles *Décapage mécanique des surfaces métalliques* [M 1 457], réf. [13] et *Traitements de surface des métaux avant peintures* [M 1 500], [M 1 501], réf. [11].

Les produits grenaillés et peints sont des produits qui sont traités dans les usines sidérurgiques, à proximité des laminoirs, ou dans des ateliers spécialisés.

Ils subissent un traitement comprenant un nettoyage des surfaces d'acier très poussé par grenailage qui élimine toutes les impuretés (calamine, rouille, etc.) suivi, immédiatement, de l'application d'une couche de peinture antirouille.

Il est à noter que ce traitement effectué en usine, donc dans de très bonnes conditions, n'assure qu'une protection temporaire et qu'il est nécessaire d'appliquer un revêtement définitif après la mise en œuvre des produits, sauf cas particuliers.

Ces produits évitent à l'utilisateur d'avoir à effectuer un décapage des surfaces d'acier sur des éléments finis, traitement souvent difficile à réaliser correctement.

Leur gamme et leurs dimensions sont très variées : produits plats (tôles, plaques, larges plats, etc.) et produits longs (poutrelles, palplanches, laminés marchands, profilés spéciaux, etc.).

Les produits de petites dimensions transversales peuvent être grenaillés et peints lorsque leur masse linéique atteint ou dépasse 4 kg/m environ (cornières de 40 × 40 × 5 par exemple).

2.3 Revêtements divers

Parmi les produits en acier protégés contre la corrosion disponibles dans le commerce, nous citerons les objets divers tels que visserie, boulonnnerie, petites pièces de quincaillerie, de serrurerie, etc., recouverts de cadmium, de cuivre, de nickel, de chrome, de plomb, etc., déjà mentionnés dans le tableau 1 (cf. également articles spécialisés de la rubrique *Traitements de surface* du traité *Traitement des métaux*).

2.4 Aciers inoxydables

On se reportera aux articles sur les *Aciers inoxydables* réf. [14] et *Métaux et alliages passivables. Règles de choix et emplois types* [M 153], réf. [2].

La tôle d'acier inoxydable est un matériau qui résiste à l'atmosphère et aux eaux naturelles ; il est nécessaire cependant de choisir la nuance de l'acier inoxydable en fonction de la nature de l'environnement dans lequel les éléments de construction sont en service.

Les éléments extérieurs sont, en règle générale, fabriqués avec des aciers austénitiques à 18 % de chrome et 8 à 10 % de nickel. Leur résistance à la corrosion en atmosphère marine peut être accrue par l'addition de 2 à 3 % de molybdène.

Les aménagements intérieurs, de même que les toitures, peuvent être fabriqués en acier ferritique à 17 % de chrome.

2.5 Aciers faiblement alliés à résistance améliorée à la corrosion

On se reportera à l'article *Aciers de construction non alliés ou faiblement alliés* [M 308], réf. [15].

Ces aciers, dits *patinables*, sont des aciers qui, exposés sans revêtement à l'atmosphère et à la pluie, ont la particularité de se recouvrir d'une couche d'oxydes devenant progressivement compacte, adhérente et résistante ; cette couche d'oxydes, de couleur brun foncé, est une sorte de patine.

Ce sont des aciers faiblement alliés contenant des éléments d'addition tels que : cuivre, chrome, nickel, et, éventuellement, phosphore, vanadium, molybdène, etc., en faibles proportions.

L'utilisation de ces aciers en construction métallique nécessite de prendre certaines précautions pour obtenir la formation de la patine ; en particulier, leur oxydation convenable nécessite une certaine alternance de périodes sèches et humides. Il est conseillé aux utilisateurs de consulter les sociétés productrices de ces nuances, pour tous renseignements concernant leur mise en œuvre.

3. Mesures à prendre dès la conception des ouvrages

C'est au niveau de la conception que les premières précautions doivent être prises pour éviter la corrosion de l'acier ; ces précautions devront faciliter la mise en peinture et ensuite l'entretien, s'il y a lieu, des constructions en service.

L'eau étant un agent actif de la corrosion en présence d'air, il convient d'éviter le plus possible les parties creuses et les surfaces horizontales susceptibles de la retenir longtemps. Une pente suffisante doit être donnée à toutes les surfaces qui reçoivent la pluie, la neige, les brouillards ou les embruns. En ce qui concerne l'eau de condensation, parfois abondante dans certains ouvrages, il faut en assurer l'écoulement comme sur les surfaces extérieures.

Lorsque les assemblages présentent des recoins ou des interstices (figure 5), les produits pulvérulents (suie, poussière, etc.) s'y accumulent et retiennent l'humidité ainsi que certains gaz comme le dioxyde de soufre présent dans les villes et les régions industrielles.

Les arêtes, les saillies, les angles saillants, sont les causes d'un amincissement des couches de peintures qui les recouvrent. Des chanfreins, des quarts de rond, des congés sont préférables ; l'épaisseur de peinture y est alors la même que sur les surfaces planes.

De plus, dans les constructions en profils creux, des condensations se produisent sur les surfaces intérieures, ainsi que des accumulations d'eau dans les parties inférieures. Il convient donc,

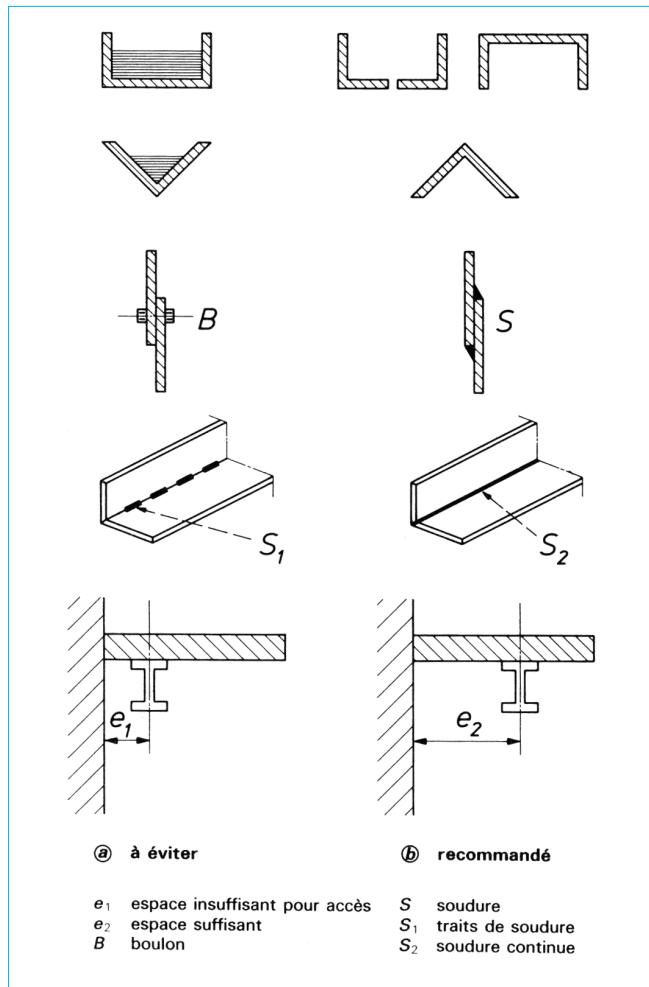


Figure 5 – Précautions à prendre dès la conception

suivant les cas, de fermer hermétiquement ces profils ou bien de favoriser au contraire l'écoulement de l'eau condensée au moyen de perçements convenablement placés.

Il faut également veiller à ce que toutes les surfaces à protéger puissent être atteintes par la brosse ou le pistolet.

L'assemblage par cordons de soudure continus, supprimant les interstices, facilite également l'application de la peinture et concourt à l'efficacité de la protection.

L'homogénéité des matériaux assemblés est également recommandée ; le contact de l'acier avec les métaux cuivreux ou les alliages d'aluminium et de magnésium crée des couples galvaniques qui peuvent détériorer les uns ou les autres, d'où l'intérêt de métalliser localement l'acier avec le même métal que celui qui viendra en contact, ou encore d'anodiser l'aluminium, ce qui constitue une couche isolante très efficace du point de vue électrique. Le contact avec le plâtre ou le bois de chêne ou de châtaignier est également à éviter

en raison de l'humidité du premier et des produits agressifs des seconds (tanins).

La majorité des sels magnésiens peuvent également être corrosifs pour l'acier, comme d'ailleurs pour le béton.

Si les éléments de construction doivent être soudés, il est indiqué de ne pas appliquer de couche primaire sur les bords à souder, la peinture risquant de gêner l'exécution correcte des assemblages ; par ailleurs, cette exécution détruirait inévitablement la peinture.

De la même manière, il ne faut mettre aucune peinture sur les surfaces qui seront serrées l'une contre l'autre par boulonnage HR (cf. article *Constructions métalliques. Moyens d'assemblage* [C 2 520], réf. [16] dans la présente rubrique), sauf si, après séchage, la couche de protection offre un coefficient de frottement supérieur ou égal à celui pris en compte dans les calculs.

Sur l'ouvrage terminé, la couche primaire peut être accidentellement endommagée par des éraflures survenues pendant le transport ou le montage. Dans ce cas, toutes les parties endommagées doivent être recouvertes d'une nouvelle couche pour restituer son intégrité à la couche primaire.

Des éléments de construction recouverts d'une couche primaire peuvent, à la rigueur, demeurer en attente de montage, sur chantier, pendant quelques semaines.

Les couches intermédiaires et de finition sont appliquées sur l'ouvrage monté, sauf pour les parties inaccessibles après montage qui devront être protégées avec plus de soins encore que tout le reste de la construction avant le levage.

Enfin, pour faciliter le contrôle, il est recommandé de choisir des teintes voisines, non identiques pour les différentes couches.

4. Entretien. Réparations

L'efficacité et la durabilité des revêtements de protection sont fonctions de leur qualité, de l'atmosphère environnante et, bien entendu, de leur entretien.

Les parties exposées à l'extérieur sont soumises aux intempéries et, généralement, lavées par les pluies. Par contre, certaines parties peuvent retenir des impuretés et des produits de corrosion des revêtements.

Il est donc conseillé de pratiquer de façon régulière un examen et un nettoyage de ces zones.

De plus, il ne faut pas attendre qu'un revêtement ait complètement disparu et que l'acier ait commencé à se corroder pour intervenir. Il est préférable de refaire la couche de finition d'un système de peinture avant que les couches sous-jacentes ne soient elles-mêmes détruites.

Pour cette opération, il faudra tenir compte de la nature des liants utilisés. En effet, des phénomènes de détrempe ou de non-adhérence, par exemple, peuvent se produire. Il est alors conseillé de consulter les fournisseurs de peinture.

De même, avant toute remise en peinture, un nettoyage du substrat sera nécessaire : dégraissage éventuel, lessivage, brossage et reprise des zones détériorées avec une peinture primaire anti-rouille, etc.

Enfin, la compatibilité des différents produits entre eux devra être vérifiée.