



**TECHNIQUES
DE L'INGÉNIEUR**

Réf. : **TBA1054**

La corrosion des aciers

Date de publication :
01 décembre 2004

Cet article est issu de : **Construction et travaux publics | Techniques du bâtiment :
l'enveloppe du bâtiment**

Pour toute question :
Service Relation clientèle
Techniques de l'Ingénieur
Immeuble Pleyad 1
39, boulevard Ornano
93288 Saint-Denis Cedex

Par mail :
infos.clients@teching.com
Par téléphone :
00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **04/05/2020**

Pour le compte : **7200048087 - ecole normale superieure de lyon // 140.77.168.36**

© Techniques de l'Ingénieur | tous droits réservés

La corrosion des aciers

I – Présentation.....	TBA1054 - 2
A. Cause de la corrosion	– 2
B. Conséquence essentielle	– 2
II – Processus de la corrosion.....	– 2
III – Causes de la corrosion	– 3
A. Facteurs climatiques ou géographiques	– 3
B. Assemblages hétérogènes	– 4
C. Contraintes mécaniques	– 4
D. Circulation de courant électrique.....	– 4
IV – Mécanisme de la corrosion.....	– 4
V – Corrosion électrochimique.....	– 4
VI – Protections anticorrosives.....	– 7
A. Action	– 7
B. Préparation des surfaces	– 11
C. Procédés d’application.....	– 11
VII – Métaux de revêtement	– 13
A. Zinc.....	– 13
B. Aluminium	– 14
C. Revêtements divers.....	– 14
VIII – Peintures.....	– 14
IX – Protection par le béton.....	– 14

Le phénomène de corrosion se produit lorsqu'un métal est soumis à un milieu agressif, la plupart du temps il s'agit de la combinaison de l'humidité et de l'oxygène, mais l'exposition accrue aux rayons UV ou à certaines formes d'usure peut représenter aussi une menace. Le matériau s'altère, quitte son état métallique pour se transformer en sels (oxydes, sulfures, carbonates) et revient ainsi à son état naturel. La conséquence première, et la plus préjudiciable, est la perte de ses caractéristiques mécaniques. Le fer possède une forte réactivité dans ce processus électrochimique et les échanges ioniques à sa surface sont multiples. De plus, des facteurs aggravants peuvent augmenter le pouvoir corrosif d'une atmosphère, comme par exemple le degré de salinité dans l'air ou l'écaillage du métal. L'application de moyens de protection apporte des solutions pour enrayer ce phénomène, du moins le retarder.

Ainsi, traitement de surface, revêtement organique ou métallique, électrodeposition, galvanisation, et même transformation de la surface du métal, permettent à un grand nombre de produits en acier de résister à des conditions d'utilisation en extérieur. Toutefois, la préparation du support conditionne considérablement l'efficacité du traitement. L'acier doit être mis à nu, il peut être sablé, brossé, voire même brûlé. Ensuite, l'épaisseur du dépôt et son adhérence au support sont également fonction du mode d'application retenu : immersion, pulvérisation, électrodeposition, pinceau.

I - PRÉSENTATION

A. Cause de la corrosion

Altération au contact d'un milieu agressif – La corrosion d'un métal est un phénomène somme toute assez naturel, qui se produit spontanément dès que ce matériau est en contact avec un milieu agressif. Ce dernier peut être tout simplement une atmosphère chargée d'humidité. En sa présence, la superficie de l'acier tend à être détruite et à se recouvrir de rouille. On peut d'ailleurs noter que la corrosion ne fait que conduire à l'état originel du métal, celui-ci existant dans la nature sous forme d'oxydes, de sulfures ou de carbonates, à l'exception de ceux qui, comme le platine, l'or, peuvent être trouvés dans le sol à l'état métallique.

En d'autres termes, c'est une altération ou dégradation qui résulte du passage de l'état métallique à l'état de sels (oxydes, sulfures, carbonates...).

Pour que cela puisse se produire, il est nécessaire d'avoir une présence simultanée d'eau et d'oxygène.

Dans la nature, le mécanisme est principalement d'ordre électrochimique, et le processus est identique à celui de la pile fournissant du courant électrique, l'électrolyte étant formé par l'eau oxygénée. Nous allons le détailler ci-après.

B. Conséquence essentielle

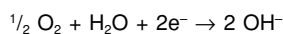
Il y a forcément une diminution plus ou moins importante des caractéristiques mécaniques.

Prévenir la corrosion – C'est donc au moment de l'étude qu'il faut penser à la corrosion. Il faudra, pour cela, une parfaite connaissance du milieu ambiant ainsi qu'un choix judicieux des méthodes de protection. À l'atelier comme sur le chantier, une préparation soignée des surfaces à protéger suivie d'un entretien périodique est indispensable.

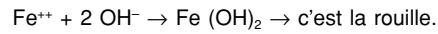
Le dessinateur-projeteur, ingénieur d'étude, responsables de projets, essaieront de réaliser des assemblages simples en évitant les goussets, raidisseurs et intersections complexes de profilés.

II - PROCESSUS DE LA CORROSION

Fer – Le fer en particulier est très sensible à ce milieu actif oxygéné, et sa surface devient une zone d'intense échange ionique, entre un pôle (–), l'anode, et un pôle (+), la cathode. On constate alors, au fur et à mesure, la « consommation » de l'anode selon la réaction suivante :



puis :



Deux types d'échanges ioniques peuvent se produire.

Pile de concentration – Cette fois, bien qu'il n'y ait dans l'électrolyte qu'un seul métal, le courant ionique naît de la différence des concentrations de la solution saline aqueuse.

Une goutte d'eau salée déposée à la surface d'un acier est plus oxygénée sur les bords qu'en son centre. Le centre, de potentiel plus négatif que les bords, devient l'anode, et la corrosion attaque à cet endroit (cf. Fig. 1).

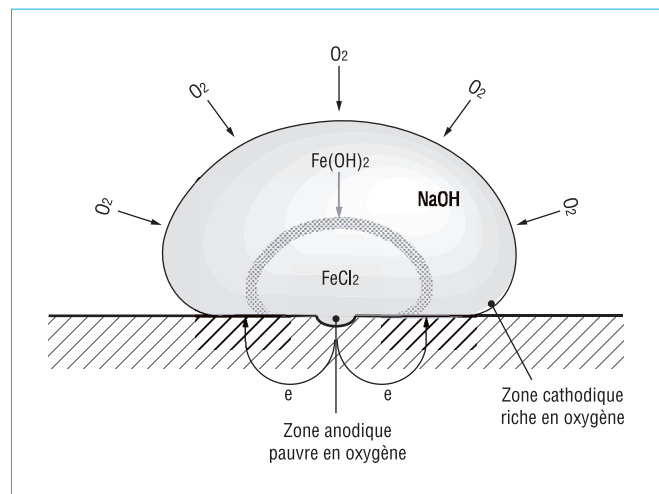
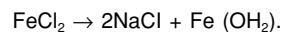


Fig. 1 : Pile de concentration d'une goutte d'eau.

Cet exemple montre que les ions Na^+ vont se rassembler à l'extérieur de la goutte (cathode : zone oxygénée) et se réunir aux ions OH^- de l'eau pour former de la soude NaOH .

Les ions Cl^- au contact du métal (anode) forment, avec les ions Fe^{++} , du chlorure ferreux FeCl_2 .

La diffusion de la soude et du chlorure ferreux donne la réaction suivante :



Il s'ensuit la formation de l'hydroxyde ferreux $\text{Fe}(\text{OH})_2$ soluble qui, au contact de l'oxygène dissous dans l'eau, donne progressivement de l'hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$ insoluble. Cet oxyde se dépose à la surface du métal lorsque la goutte s'évapore. Ce dépôt de rouille non adhérent n'exerce aucune action protectrice. Si, en revanche, l'eau qui est en contact avec le métal contient en solution homogène une quantité importante d'oxygène (lame d'eau très fine, largement aérée), l'hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$ insoluble se forme d'emblée à la surface du métal, adhère à celle-ci, et la protège contre la poursuite de la corrosion.

Pile galvanique – Les impuretés à la surface du métal d'une part et l'acier lui-même d'autre part forment les deux pôles

actifs de la réaction. Ils baignent dans l'eau superficielle qui représente l'agent réactif, l'électrolyte.

L'acier n'est alors consommé (formation de rouille) que si dans ce couple, il représente l'anode.

Supposons, par exemple, que l'impureté soit le zinc. Comme celui-ci possède un potentiel plus électro-négatif que l'acier, il devient lui-même anode et se détruit peu à peu.

Si, au contraire, l'impureté est le cuivre, l'acier à son tour se consommera car il représente alors le pôle négatif.

Par le même processus, la couche de calamine constituée par du fer combiné à de l'oxygène joue, comme dans un accumulateur, le rôle de cathode par rapport à une région dénudée si la surface de l'ensemble est recouverte d'un liquide conducteur (eau contenant des impuretés, par exemple sel, base ou acide, dissociés (cf. Fig. 2)).

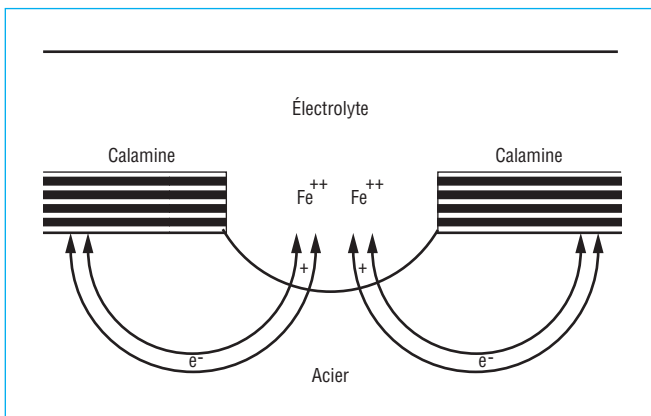


Fig. 2 : Pile galvanique de l'acier calaminé.

Le conducteur reliant l'anode à la cathode est le métal lui-même. Si la surface de la zone calaminée est grande par rapport à celle de la zone dénudée, la densité de courant (intensité rapportée à la surface de l'électrode) est importante à la surface de l'anode. Il en résulte, en cet emplacement, une corrosion intense entraînant la formation d'une cavité qui manifeste une tendance à s'étendre en profondeur.

La rupture d'une couche continue de calamine constitue ainsi une cause de corrosion.

L'élimination préalable de la calamine existant à la surface des produits métallurgiques représente une excellente précaution contre les risques de corrosion que peut entraîner une détérioration locale de cette couche.

III - CAUSES DE LA CORROSION

A. Facteurs climatiques ou géographiques



Remarque

L'humidité relative des atmosphères est bien évidemment le paramètre principal qui détermine le degré d'agressivité du milieu ambiant. Mais pour être corrosive, l'eau contenue dans l'atmosphère doit être également conductrice d'électricité. Ainsi, toute présence de gaz sulfureux, de gaz carbonique ou de chlorures dont l'eau de pluie (*a priori* pas très active par elle-même) peut se charger en traversant l'atmosphère et augmenter énormément le processus de corrosion.



Durée de résistance – Ainsi, pour deux types d'acier, les pertes en poids en fonction des années peuvent aller du simple au double (cf. Fig. 3).

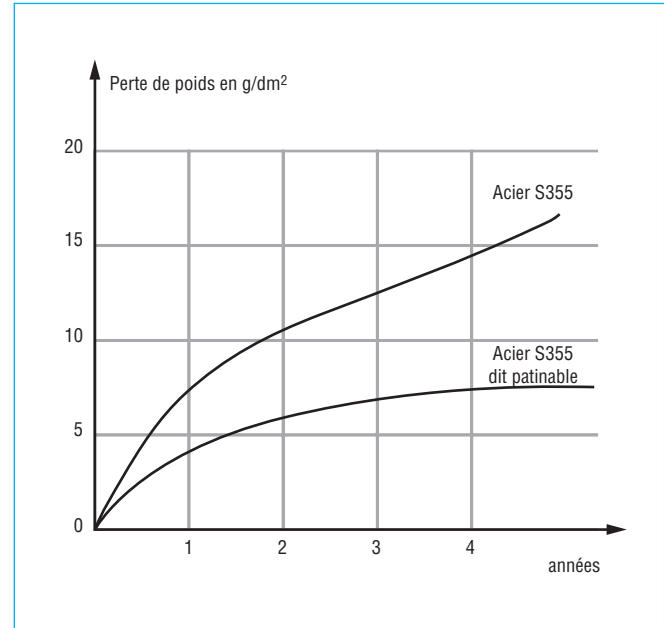


Fig. 3 : Évolution de la perte de poids due à la corrosion.

De même, si on compare la résistance à la corrosion atmosphérique d'un revêtement de zinc par galvanisation à chaud de 80 microns, on peut voir dans d'assez larges proportions la durée de résistance en fonction du temps, mais surtout du milieu d'exposition (cf. Fig. 4) :

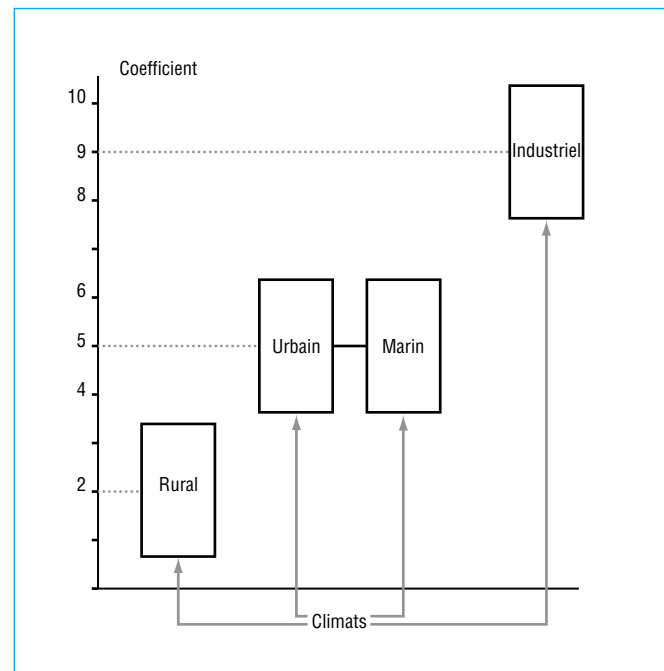


Fig. 4 : Durée de résistance à la corrosion en fonction du temps et du milieu d'exposition.

- en milieu rural 80/2 = 40 ans ;
- en milieu marin et urbain 80/5 = 16 ans ;
- en milieu industriel 80/9 = 8,5 ans.

Facteurs aggravants – Ainsi, on peut citer comme facteurs aggravants :

- le degré hygrométrique de l'atmosphère et les précipitations ;
- la variation de la température et de la pression qui provoquent la condensation ;
- les vents transportant des matières abrasives ;
- le degré de salinité de l'air pour les zones proches de la mer ;
- le taux de produits chimiques en suspension dans l'atmosphère (provenant des zones urbaines).

B. Assemblages hétérogènes

Le contact de deux matériaux différents, même non corrodables, pris isolément, peut conduire à la corrosion électrolytique ou chimique.

C. Contraintes mécaniques

La corrosion se propage et pénètre plus facilement dans un métal sous tension. Un métal écroui est capable de céder des électrons plus facilement qu'un métal recristallisé. Dans une pièce métallique, les parties écrouies par déformation sont plus sensibles à la corrosion que les autres.

D. Circulation de courant électrique

Oxydation – En présence d'humidité, la circulation de courant dans les assemblages conduit à des phénomènes d'oxydation.

Traitements thermiques – En modifiant la structure d'un métal, un traitement thermique peut faire apparaître une dissymétrie entre les grains et leur voisinage immédiat, et être à l'origine d'une corrosion intergranulaire localisée aux joints des grains.

IV - MÉCANISME DE LA CORROSION

Corrosion électrochimique – La corrosion électrochimique se manifeste dans un métal en contact avec de l'eau ou, plus généralement, en présence d'un milieu humide.

La perte de matière s'accompagne du passage, à travers le métal, de courants électriques dont l'intensité globale est proportionnelle à la quantité de métal éliminé par la corrosion.

Corrosion chimique ou sèche – Nous ne détaillerons pas ce point, mais il faut savoir que lorsqu'un métal est attaqué par un gaz à haute température (CO_2 , SO_2 , GO_2 , au-dessus de 400°C), il se forme des composés métalliques de surface de très faible épaisseur (10 à 10 000 Angströms), qui constituent une pellicule protectrice.

Si la couche ainsi formée est suffisamment épaisse, elle s'oppose à la continuation du processus de corrosion.

Dans le cas inverse, son pouvoir protecteur sera limité.

V - CORROSION ÉLECTROCHIMIQUE

Différences de potentiel électrochimique entre quelques métaux usuels – La corrosion électrochimique entre deux métaux dépend de leur place relative dans l'échelle des potentiels.

Le contact entre deux métaux dans une atmosphère humide donne naissance à un couple électrochimique assimilable à une pile :

- le métal le plus noble, dit « électro-positif » par rapport à l'autre métal, constitue le pôle positif de la pile ;
- l'autre métal, dit « électro-négatif » par rapport au précédent, forme le pôle négatif.



Le tableau 1 donne pour les principaux métaux et alliages la différence de potentiel électrochimique pour chacun d'eux avec celui du métal pris comme étalon dans le cas d'exposition à l'air salin.



Remarque

Ces potentiels sont variables en fonction du milieu ambiant ; il ne faut les considérer que comme des valeurs indicatives.

Par ailleurs, il a été déterminé expérimentalement que l'attaque ne devenait réellement sensible que pour une différence de potentiel d'au moins 300 millivolts.

La zone assombrie du tableau représente donc un ensemble de contacts possibles sans danger.



Utilisation du tableau 1

- Au-dessous de la zone neutre, le métal sur l'échelle verticale est attaqué.
- Au-dessus de la zone neutre, le métal sur l'échelle horizontale est attaqué.

Exemple

Le couple acier X3CrNi 18-08 – Zinc : ddp = 1 150 mV : le zinc est attaqué.

Tab. 1 – Différence de potentiel de quelques couples

	Métaux électro-positifs										Métaux électro-négatifs					
	X5 CrNi-18-08	Argent	Nickel	Cuivre	Laiton	Étain	AlCu 4Mg	AlCu 5Mg Ti	Fonte	Acier	AISI 10Mg	Aluminium	Duralinox	Cadmium	Chrome	Zinc
X5 CrNi-18-08				320	400	550	690	700	700	750	815	840	850	850	950	1.150
Argent						450	590	600	600	650	715	740	750	750	850	1.050
Nickel						370	510	520	520	570	635	660	670	670	770	970
Cuivre	320						370	380	360	430	495	520	530	530	630	830
Laiton	400									360	415	440	450	450	550	750
Étain	550	450	370												400	600
AlCu 4Mg	690	590	510	370												460
AlCu 5Mg Ti	700	600	520	380												450
Fonte	700	600	520	360												460
Acier	750	650	570	430	360											400
AISI 10Mg	815	715	635	495	415											335
Aluminium	840	740	660	520	440											310
Duralinox	850	750	670	530	450											
Cadmium	850	750	670	530	450											
Chrome	950	850	770	630	550	400										
Zinc	1.150	1.050	970	830	750	600	460	450	460	400	335	310				



Principe de la pile cuivre-zinc (cf. Fig. 5) – On considère deux électrodes, l'une en zinc, l'autre en cuivre, reliées par un conducteur et plongées dans une solution d'acide sulfurique (H₂SO₄).

Le zinc, étant plus électro-négatif que le cuivre, va donner de ses électrons. On observera une migration des électrons du – vers le + : Zn → Zn⁺⁺ + 2e⁻. L'acide sulfurique nous donne des ions SO₄⁻ et 2H⁺. Les ions H⁺ au contact de l'électrode de cuivre provoquent un dégagement de H₂ :

2H⁺ + 2e⁻ → H₂ : l'hydrogène adhère à la paroi de l'électrode et forme une gaine plus ou moins isolante. Ce phénomène s'appelle la polarisation.

En revanche, l'anode (Zn) se dégrade car il y a formation de sulfate de zinc : Zn⁺⁺ + SO₄⁻ → Zn SO₄ (dégradation de cette électrode). La polarisation des surfaces en contact avec un électrolyte est un phénomène qu'il convient de favoriser en vue de lutter contre la corrosion.



Identification des électrodes (cf. Fig. 6) – La cathode est l'électrode où aboutissent les cations (ions positifs).

L'anode est l'électrode qui reçoit les anions (ions négatifs).

Les électrons dans le conducteur vont toujours de l'anode vers la cathode.

Un moyen simple d'identifier l'anode et la cathode est de considérer l'anode comme étant l'électrode que quittent les électrons, la cathode celle où ils aboutissent.



Établissement d'un courant entre deux électrodes d'un même métal – Effet d'une hétérogénéité physique : écouissage (cf. Fig. 7) – Si l'on relie par un fil deux éprouvettes d'un même métal dont l'une a été préalablement écouissée, on constate l'établissement d'un courant marqué par un transfert d'électrons de l'éprouvette écouissée vers l'éprouvette non écouissée, ce qui revient à dire que le métal écouissé manifeste une plus grande propension à libérer des ions que le métal non écouissé. Cet effet est attribué à un relâchement des liaisons entre atomes en relation avec l'augmentation des dislocations dans le métal écouissé.

Donc, l'écouissage local d'un métal peut être à l'origine d'un processus de corrosion.

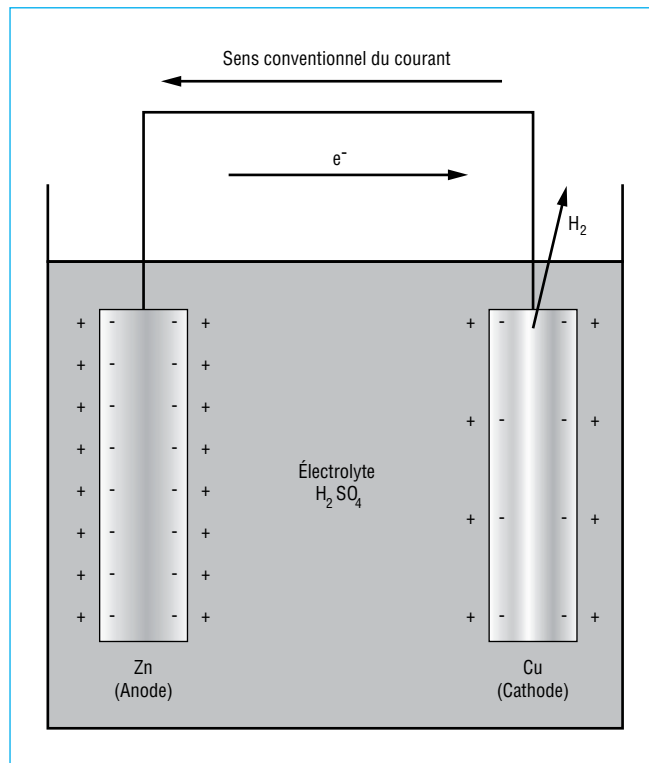


Fig. 5 : Principe de la pile cuivre zinc.

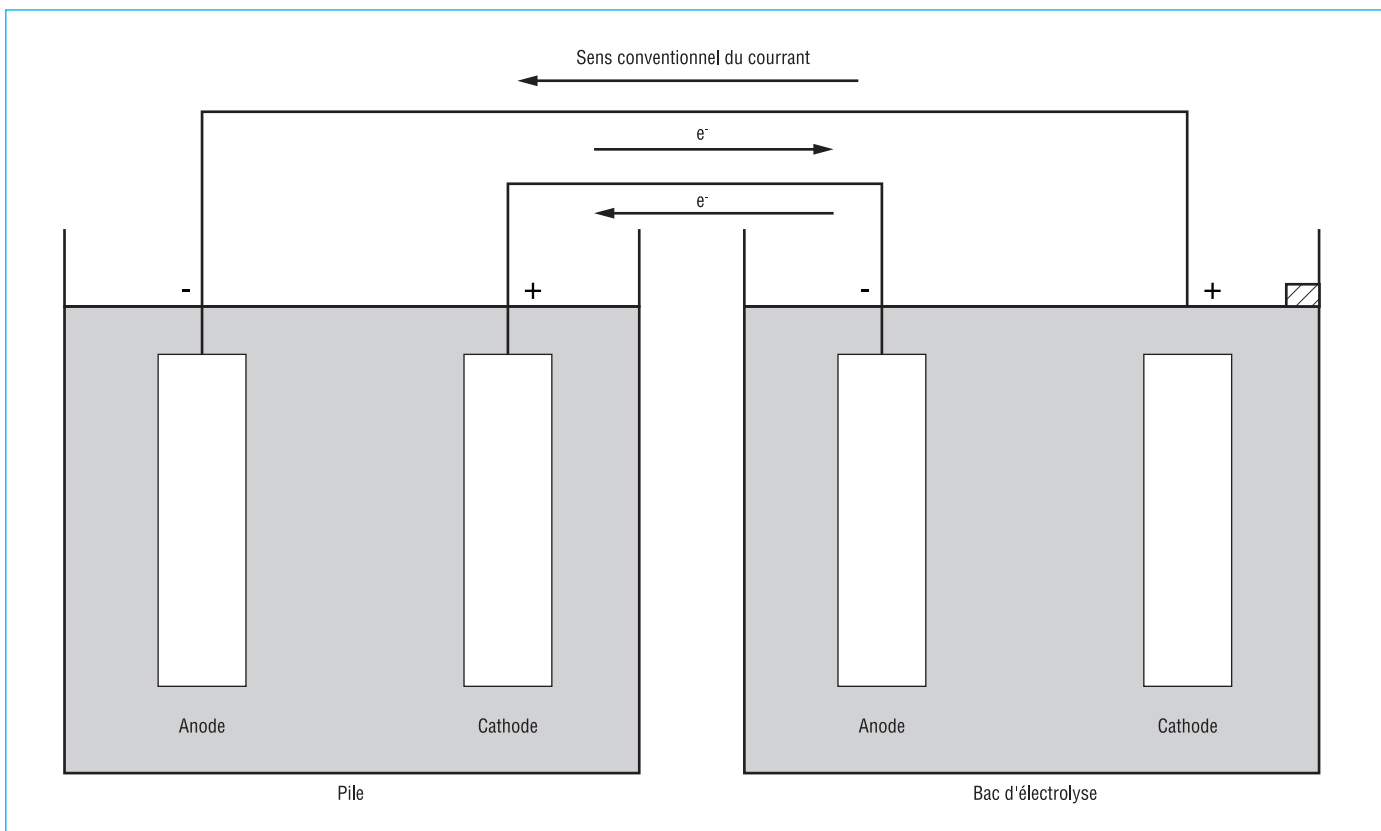


Fig. 6 : Identification des électrodes et du sens conventionnel du courant.

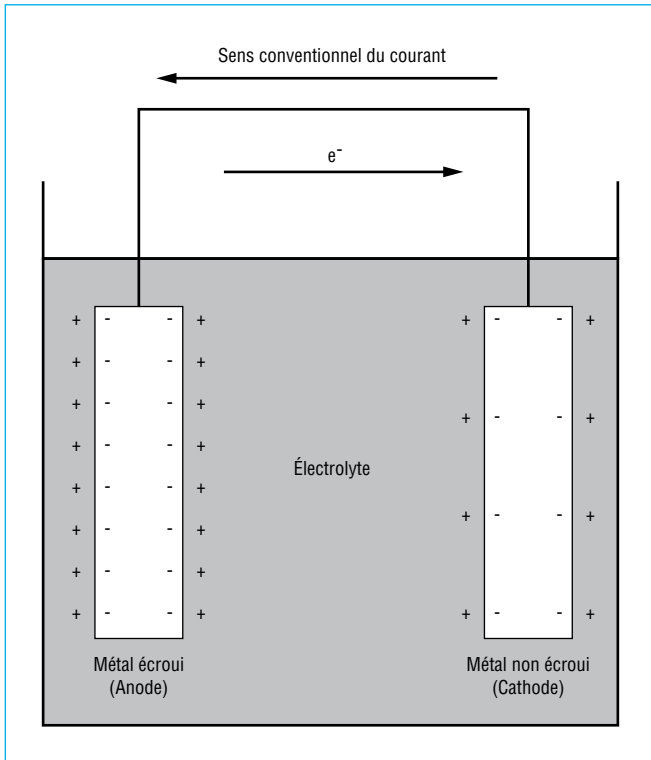


Fig. 7 : Effet d'une hétérogénéité physique due à l'écroutissage.

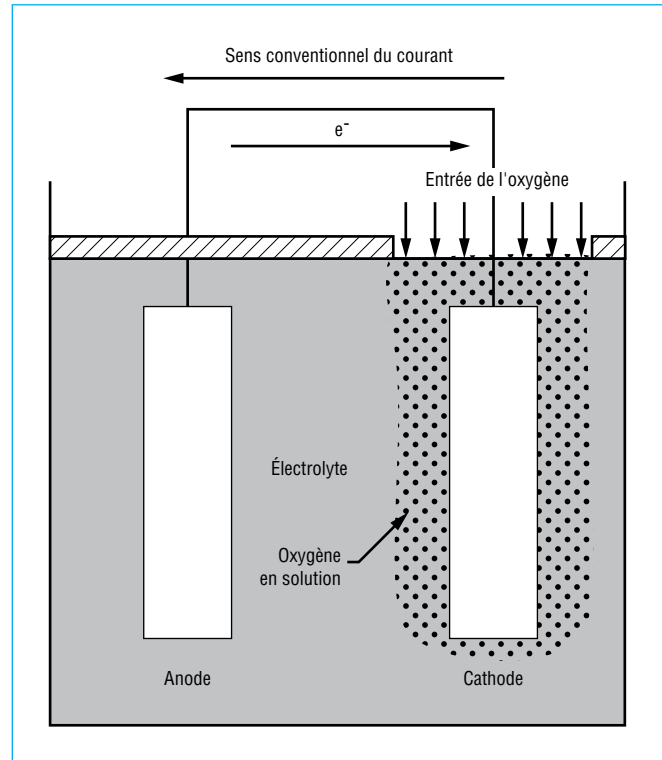


Fig. 8 : Effet d'une hétérogénéité chimique due à la présence d'oxygène.

Établissement d'un courant entre deux électrodes d'un même métal – Effet d'une hétérogénéité chimique : oxydation différentielle (cf. Fig. 8) – Si l'on couvre une des électrodes dans un électrolyte, l'électrode la plus aérée fonctionne comme cathode, à l'inverse des parties moins aérées. On va pouvoir observer une dégradation des zones peu oxygénées.

Ainsi, l'oxydation se réduit à une perte d'électrons cédés par les atomes de fer à la couche extérieure des atomes d'oxygène.

L'oxydation s'accompagne du phénomène de chaleur (l'oxygène capte les électrons : O^- ; le fer donne : Fe^-).

On en déduit que le phénomène « d'oxydation » se produit à l'anode, qui est le siège d'une perte d'électrons (phénomène de « réduction » à la cathode).

Exemples de corrosion électrochimique

- Phénomène de la pile géologique (cf. Fig. 9)**
 Si une conduite traverse une zone sablonneuse perméable à l'air, puis une zone argileuse moins perméable, une pile se forme par oxydation différentielle.
 La partie de la conduite en contact avec le milieu, le moins aéré, se corrode.
- Cas de corrosion à la ligne d'eau (cf. Fig. 10)**
 Un récipient en acier contenant de l'eau va partiellement être attaqué dans la région située un peu au-dessous de la ligne d'eau. Le mécanisme est analogue à celui décrit au paragraphe « Pile de concentration ».
- Cas d'une cuvette (effet Evans) (cf. Fig. 11)**
 Le processus de corrosion s'établit spontanément par une différence de potentiel entre l'eau stagnante, pauvre en oxygène, et l'eau chargée en oxygène.
 La surface en contact avec de l'eau aérée constitue une « cathode » ; le fond de la cavité, une anode. Ainsi, la corrosion se forme au fond de la cavité, pauvre en O_2 , et sera accélérée d'autant plus que la cavité sera profonde.

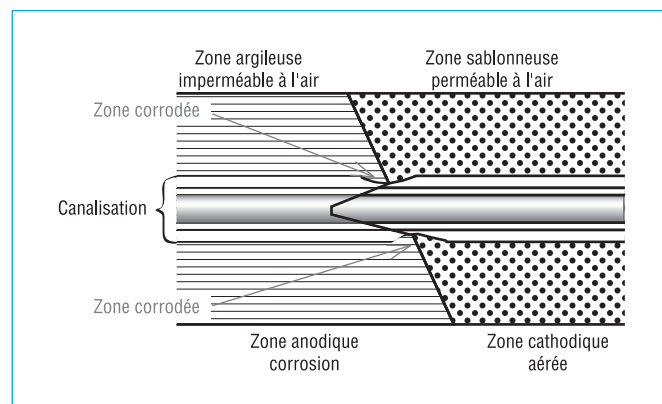


Fig. 9 : Phénomène de pile géologique.

VI - PROTECTIONS ANTICORROSIVES

A. Action



Remarques

- Le but à atteindre est clair. Il faut entraver le processus de formation de piles. Plusieurs moyens sont à notre disposition, car l'action anticorrosive des protections prend des formes multiples.
- Des tableaux synoptiques vous permettront d'appréhender plus rapidement les moyens de protection contre la corrosion (cf. Tab. 2), les préparations de surfaces (cf. Tab. 3), ainsi que des cas particuliers de protection (cf. Tab. 4).



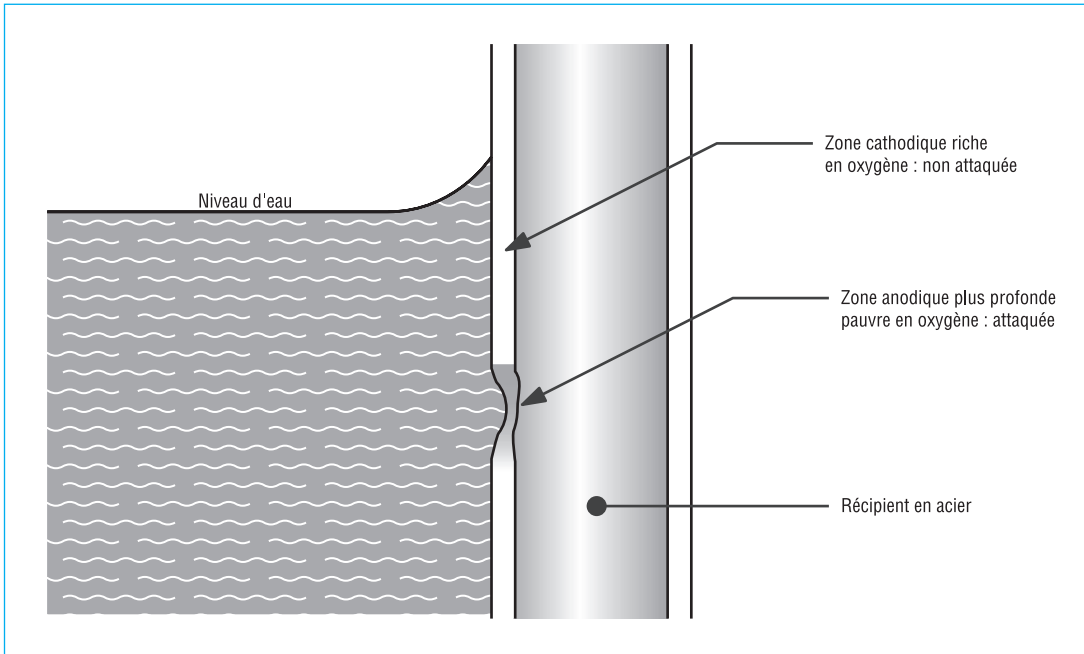


Fig. 10 : Cas relatif à la ligne d'eau.

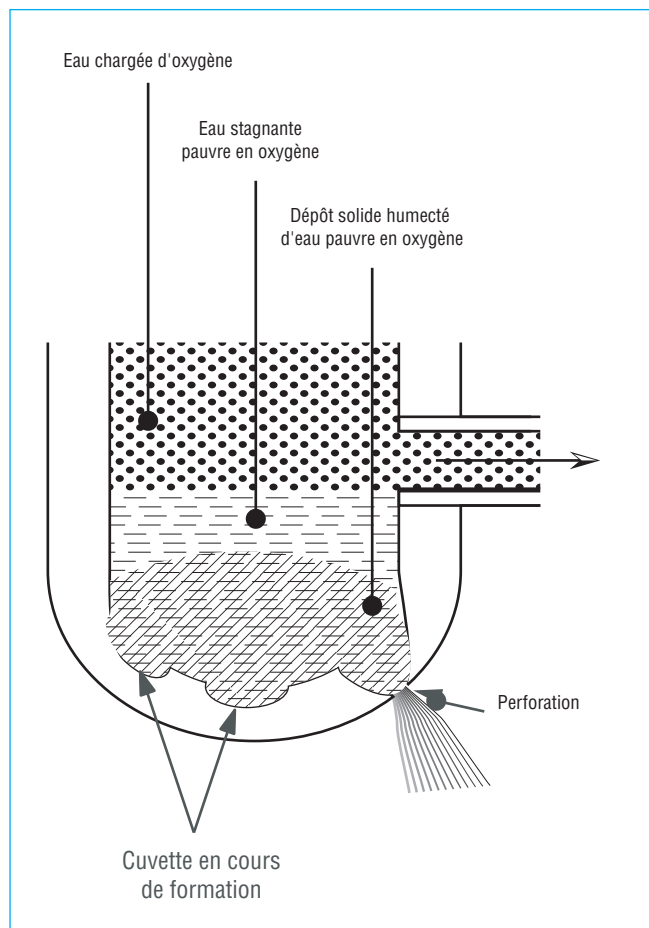


Fig. 11 : Cas relatif à une cuvette (effet Evans).

Tab. 2 – Synthèse des moyens usuels mis en œuvre contre la corrosion (résumé)

Classification	Nature	Exemples d'utilisation	Produits sidérurgiques protégés
Revêtements isolants du milieu extérieur, appliqués sans modifications notables de la surface de l'acier mise à vif ou traitée			
Revêtements non métalliques obtenus par :	Peintures, vernis, laques et préparations assimilées contenant des substances organiques : huiles siccatives, résines naturelles ou artificielles, plastifiants, solvants, siccatifs, 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.	<ul style="list-style-type: none"> • Charpentes ou ossatures de bâtiments, ponts, pylônes • Façades légères • Bardages • Mobilier métallique 	<ul style="list-style-type: none"> • Plaques, tôles et profilés grenailés et prépeints • Tôles prélaquées
	Revêtements organiques de matières plastiques	Protection renforcée contre l'action des agents atmosphériques	
		Bardages et aménagements intérieurs des bâtiments	Tôles plastifiées
Revêtements organo-métalliques obtenus par :	<ul style="list-style-type: none"> • Peintures pigmentées de métaux en poudre ou en lamelles : aluminium, zinc, plomb, acier inoxydable • Peinture au zinc éthyl-silicate 	Ossatures des constructions métalliques	Plaques, tôles et profilés grenailés et prépeints
Revêtements métalliques obtenus par :	<ul style="list-style-type: none"> • Électrodéposition de nickel, de zinc, de cadmium, de cuivre, d'étain, de chrome • Revêtements résistants à l'action des intempéries, à celles de certaines substances chimiques ou alimentaires et à l'usure 	Objets en acier nickelé, chromé, zingué, étamé	<ul style="list-style-type: none"> • Fer blanc électrolytique • Tôles électrozinguées
	Immersion dans les métaux fondus : galvanisation, étamage, plombage, aluminage. Revêtements résistants aux intempéries, à la chaleur, à certaines substances chimiques	<ul style="list-style-type: none"> • 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 : métallisations au zinc, à l'aluminium, à l'étain, au plomb, aux alliages réfractaires, etc. résistants aux intempéries, aux fortes températures, à l'usure	<ul style="list-style-type: none"> • 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
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	Dérouillage, dégraissage, passivation des carrosseries des automobiles, des réfrigérateurs, des machines à laver, des menuiseries métalliques, etc.	
	Phosphatation chromatation		
	Noircissement et brunissage 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 ; shérardisation, calorisation, chromisation, contre les intempéries, l'humidité, la chaleur	Visserie, boulonnerie ; matériel de chaufferie ; pièces mécaniques	
	Traitement thermique des tôles d'acier galvanisées	Couvertures, bardages et pièces de tôlerie à assembler par soudure	Tôles galvanisées à revêtement allié

Tab. 3 – Préparation des surfaces

Procédé	Mode opératoire	Résultats
Piquage-grattage	Se fait avec des outils manuels ou pneumatiques en atelier ou en chantier.	Permet de détacher les oxydes (rouille ou calamine) s'ils ne forment pas de croûtes trop adhérentes.
		Permet de gratter les cordons de soudure pour enlever les débris.
		Un nettoyage complémentaire doit suivre ce traitement.
Brossage	Se fait avec des outils manuels ou mécaniques : – brosse métallique, manuelle ou mécanique à vitesse de rotation modérée, – abrasifs : papier de verre, toile émeri, tampons abrasifs.	Permet d'enlever la rouille légère et friable et de ne laisser qu'un voile très fin et très adhérent de rouille sur le métal.
		La surface ainsi préparée peut recevoir certaines peintures telles les peintures à l'huile ou les oléoglycérophthaliques pigmentées au minium de plomb ou au chromate de zinc, par exemple.
Sablage	Se fait au moyen de sableuses qui projettent un abrasif par l'intermédiaire d'air comprimé.	Permet de faire disparaître totalement les oxydes superficiels, les traces de vieille peinture et les gouttes collées de soudure.
		Permet d'obtenir des surfaces aptes à recevoir les revêtements les plus nobles tels que métallisations ou peintures riches en zinc.
Brûlage	Se fait au moyen de chalumeau, oxyacétylénique ou à gaz butane, ou de lampe à souder.	Permet d'éliminer les peintures anciennes et la calamine peu adhérente.
		Permet, après brossage, d'appliquer les peintures à l'huile, oléoglycérophthaliques ou bitumineuses par exemple.
Traitement chimique	Utilisation de pâtes décapantes acides, suivie de rinçages abondants. Phosphatation à froid par aspersion au pistolet sur des surfaces décapées. Application de peintures primaires réactives (wash-primer) qui contiennent une faible quantité d'acide phosphorique. Application de produits « transformateurs de rouille » qui peuvent donner de bons résultats dans certains cas.	Permet d'éliminer la rouille superficielle.
		Forme une couche de phosphates insolubles favorables à l'accrochage des peintures.
		Améliore la protection contre la corrosion et surtout l'adhérence des couches de peintures ultérieures.
		À utiliser sur les revêtements galvanisés ou métallisés dans certains cas.
		Permettent de peindre directement sur la rouille après leur application.
		À utiliser avec précaution et après essais.
Consulter les fabricants.		

Tab. 4 – Cas particuliers de protection

Protection contre	Éléments à protéger	Exemples de protections
Rayons solaires	Dans 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 : ocre, 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 silicone 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.

Revêtement protecteur – Il existe trois types de revêtements protecteurs :

- les revêtements simplement isolants : le procédé est du domaine des peintures et de l'émail (acier vitrifié). L'enduit organique peut être renforcé par des pigments de métal en accroissant l'imperméabilité ;
- les revêtements à action isolante et anodique : c'est le rôle du revêtement métallique. S'il est plus électro-négatif que le fer, il se comportera, lors de la corrosion, en tant qu'anode et sera consommé à la place de l'acier. La durée de cette action sacrificielle est fonction de l'épaisseur du dépôt. Le dévolu des métallurgistes se porte sur le zinc et l'aluminium qui possèdent la faculté de se protéger par création d'oxydes superficiels. Un dépôt de métal électro-positif, donc cathodique, est également protecteur dans la mesure toutefois où la couche est compacte et bien imperméable ;
- les revêtements inoxydables : on peut également recouvrir la pièce d'un dépôt d'acier inoxydable qui est, par nature, inattaquable par la corrosion.

Protection par action chimique – La protection n'est plus un simple revêtement mis en applique, mais une sorte d'alliage entre la surface de l'acier et le métal protecteur qui la rend inerte. C'est le procédé de la cémentation.

Alliages – Ce n'est plus seulement la surface, mais l'acier en lui-même qui est rendu résistant par alliage chimique avec des métaux d'addition, tels que le chrome ou le nickel. On obtient des aciers patinables ou des aciers inoxydables.

Action sur le milieu extérieur – À part l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion dilués dans les eaux oxygénées, citons l'utilisation des courants électriques formés dans l'électrolyte en joignant par fil électrique la surface de l'acier à celle d'une masse, à base de zinc par exemple, servant d'anode soluble. Cette protection est plus communément appelée « polarisation cathodique ».

Nous avons vu que dans une pile de corrosion, c'est le métal situé à l'anode qui est le siège du phénomène de corrosion. La protection cathodique de l'alliage consiste à réaliser une pile dans laquelle l'alliage jouera le rôle de cathode et ne sera pas attaqué.

Pour cela, on utilise une anode « sacrificielle » en métal plus réducteur que le fer : ce procédé permet de protéger les coques de navires (en particulier au voisinage de l'hélice) et les canalisations enterrées.

B. Préparation des surfaces



Remarque

La plupart des protections par revêtement nécessitent une application sur la surface de l'acier mis à nu. Celle-ci est toujours couverte d'oxydes (rouilles ou calamines) qu'il s'agit de faire disparaître. Selon le mauvais état de la surface, plusieurs procédés sont utilisés.

Piquage, martelage, grattage, brossage – Ces opérations peuvent s'effectuer manuellement ou avec des outils pneumatiques, aussi bien directement sur le chantier qu'en atelier. Elles permettent de détacher les oxydes peu adhérents, de nettoyer les cordons de soudure salis par divers débris collés. Les surfaces ainsi nettoyées ne sont aptes à recevoir que certaines peintures très grasses, ou des préparations type wash-primers.

Sablage, grenailage, corindonnage – Ce procédé utilise soit des grains abrasifs de sable, dont la teneur en silice lors d'une projection à sec est réglementée et doit être inférieure à 5 %, soit des billes de fonte, d'acier dur, ou de corindon.

Il est effectué le plus souvent à sec, par propulsion des grains au moyen d'air comprimé ou de turbines. Le réglage de la pression permet d'obtenir le degré de décapage souhaité, et le travail en atelier autorise la récupération de la matière abrasive employée.

Le procédé du sablage humide est une échappatoire à la réglementation sur l'utilisation de la silice, dans la mesure où celle-ci est entraînée par une eau pressurisée et additionnée d'inhibiteurs de corrosion.

Son efficacité est presque parfaite. Après un simple soufflage et séchage pour le procédé humide, la surface est apte à recevoir toute peinture ou revêtement métallique.

Brûlage – À l'aide d'un chalumeau oxyacétylénique, on chauffe la surface à décapage. L'opération élimine les traces de vieilles peintures ou de corps gras, décolle la calamine qui se dilate en s'échauffant plus rapidement que l'acier sous-jacent. En tout état de cause, subsiste, après brûlage, un mince film d'oxydes.

Décapages acides, lavages alcalins – On procède soit par immersion dans le réactif fluide, soit par peinture au pinceau ou pistolet.

Après dégraissage par lessives alcalines ou détergents neutres, on passe à l'attaque des oxydes par décapages acides (acide sulfurique ou chlorhydrique).

Ce traitement est surtout utilisé sur des tôles avant galvanisation ou avant phosphatation.

Phosphatation – Il s'agit de faire agir sur l'acier des préparations phosphatantes qui forment à la surface de la pièce une couche fine de phosphates de fer, très imperméable et d'excellente adhérence pour les peintures.

L'opération est effectuée à froid sur le site par aspersion au pistolet, ou à chaud vers 80° en atelier par trempage dans un bain phosphatant. Elle est précédée en général d'un décapage acide et suivie de l'application des peintures dont elle renforce le pouvoir antirouille.

C. Procédés d'application



Remarque

L'efficacité d'un revêtement protecteur dépend essentiellement du mode d'application qui en fixe l'épaisseur, la porosité et l'adhérence au support. Le choix du procédé se fait aussi en fonction de la dimension ou de la forme de la pièce à traiter.

Pinceau ou rouleau – Ce procédé est très employé dans le bâtiment pour l'application des peintures, vernis, laques ou de substances organiques de matières plastiques.

Pulvérisations – Pour les peintures, on utilise soit des pistolets à air comprimé sous une pression de 1 à 5 bars, soit des pompes hydrauliques sous une pression de 50 à 200 bars (dites sans air ou « Airless ») surtout intéressantes pour l'application de couches épaisses pauvres en solvant. Pour réduire les dispersions et pertes, on peut pulvériser la peinture dans un champ électrostatique où les gouttelettes chargées négativement sont attirées vers le métal à peindre qui est au potentiel positif.

La technique du pistolet est appliquée avec le même bonheur pour un revêtement métallique, projeté en état de fusion sur une surface qui a été auparavant sablée ou grenillée. Les revêtements peuvent parfois être poreux et nécessiter un colmatage. La plupart des métaux peuvent se plier à cette technique, effectuée dans des ateliers spécialisés. Mais il est également possible d'opérer sur le site, vu la mobilité des

appareils de projection. Cette méthode s'applique à des pièces de toutes formes et dimensions et permet d'obtenir des épaisseurs d'isolant importantes. La couche protectrice peut être encore revêtue de peinture vinylique, bitumineuse ou de résines.

Immersion et trempage (cf. Fig. 12)

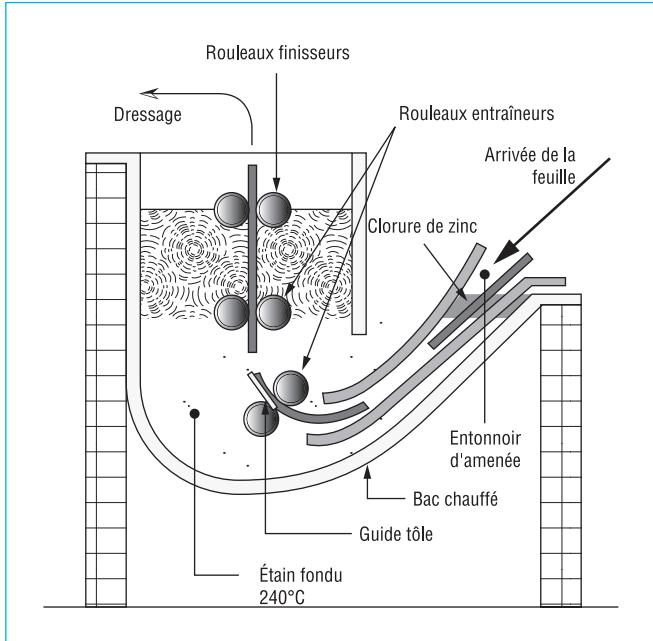


Fig. 12 : Galvanisation par trempage.

La pièce peut être trempée dans un bain de peinture puis retirée lentement afin d'en faire retomber l'excédent. Pour la

revêtir d'une couche métallique, on la plonge dans un bain de métal en fusion après lui avoir fait subir un décapage à l'acide. Celui-ci se dépose à sa surface en un film protecteur dont l'épaisseur est fonction de la température et de la durée d'immersion et peut atteindre une valeur importante.

Les éléments dont la forme ou la dimension conviennent à ce procédé sont :

- les pièces de boulonnerie ou de visserie ;
- les tubes et autres corps creux ;
- les éléments formés d'un assemblage de petite charpente.

Pour certains produits sidérurgiques tels que les tôles galvanisées ou aluminées, le procédé est industriel car on opère en continu, directement après l'élaboration de ces produits en usine.

Électrodéposition (cf. Fig. 13) – Le procédé nécessite une préparation de surface par décapage acide puis neutralisation et rinçage. Les pièces sont immergées dans une solution contenant :

- soit des sels des métaux à déposer ;
- soit des dilutions de peinture dans l'eau additionnée de divers agents.

On les place en position de cathode par rapport au pôle du générateur et sous l'action du courant électrique ; les particules de peinture ou de métal migrent vers la surface de l'acier et s'y déposent en un film mince mais régulier. L'épaisseur obtenue est en général faible, et les pièces doivent être de dimensions réduites, compatibles avec celles des cuves électrolytiques.

Ce procédé s'emploie donc sur des boulons, des vis et divers accessoires. Le revêtement de zinc peut être éventuellement phosphaté et recouvert de peinture ultérieurement.

L'électrolyte est constitué par du sulfure d'étain. La bande est reliée à la cathode. Les barres d'étain sont placées verticalement dans l'électrolyte et reliées à l'anode.

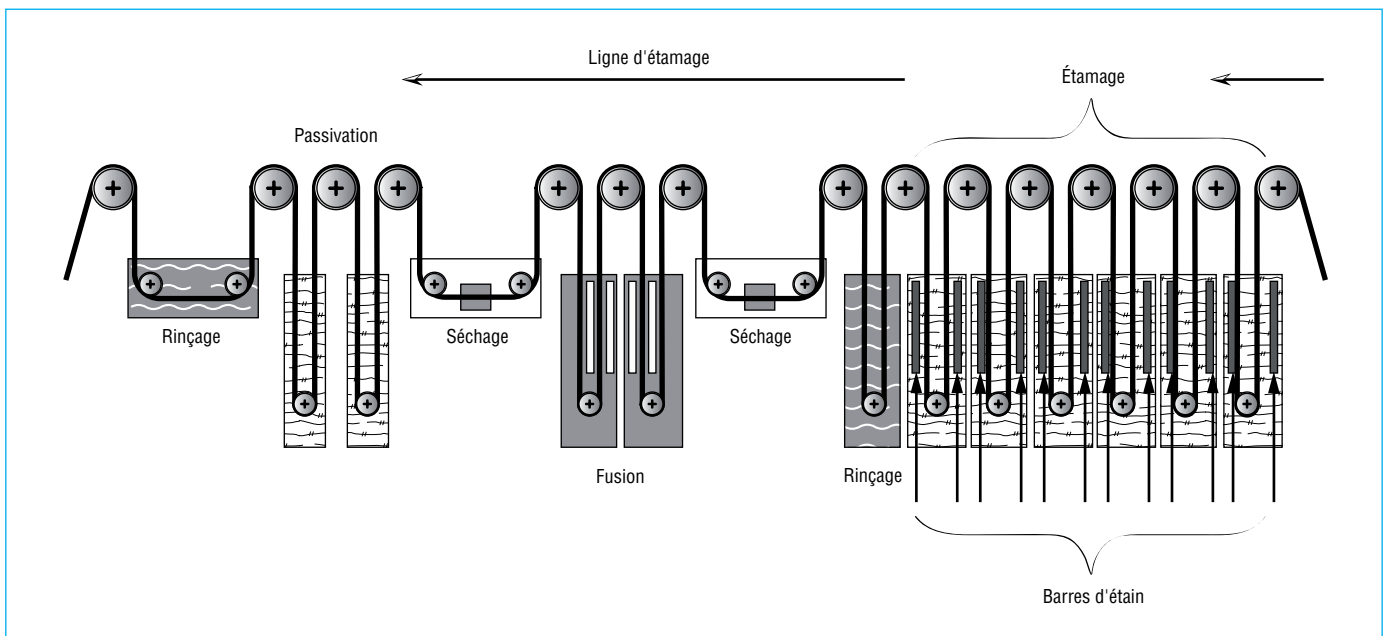


Fig. 13 : Galvanisation en continu par électrodéposition (fer blanc).

À la sortie des bacs d'étamage, l'étain déposé est mat et poreux. Pour obtenir une belle surface, parfaitement compacte, il faut lui faire subir un commencement de fusion, soit en faisant passer un courant électrique dans la bande, soit en faisant circuler celle-ci dans un appareil chauffé par induction.

Cette fusion est suivie d'un refroidissement brutal qui assure une bonne adhérence sur la tôle. Ensuite, l'étain subit une passivation obtenue en oxydant légèrement l'étain par électrolyse dans un bain de bichromate de sodium.

Cémentation – Dans une enceinte mise à haute température, on place les objets en acier que l'on veut traiter, en présence d'un mélange de poudre métallique et de ciment. Par diffusion superficielle, les éléments de cette poudre forment une couche anticorrosive sur la périphérie de l'objet. Les métaux protecteurs sont le Zn ou l'Al.

Placage – Le procédé s'applique sur des tôles d'acier dites plaquées, sur lesquelles, après un traitement spécifique de la surface, on applique une feuille de métal protecteur par collage à chaud. Ce procédé est appelé colaminage (métaux utilisés : l'inco ou le nickel).

Un autre procédé de placage est utilisé pour les matériaux dont le colaminage est impossible ou les matériaux dont la diffusion pendant le soudage à chaud est inacceptable (titane, tantale, aluminium). C'est le placage par explosion. Le prix de revient demeure élevé (cf. Fig. 14).



L'explosion provoque des ondes qui se propagent suivant la flèche et décapent les deux faces à souder en projetant les oxydes vers l'extérieur.

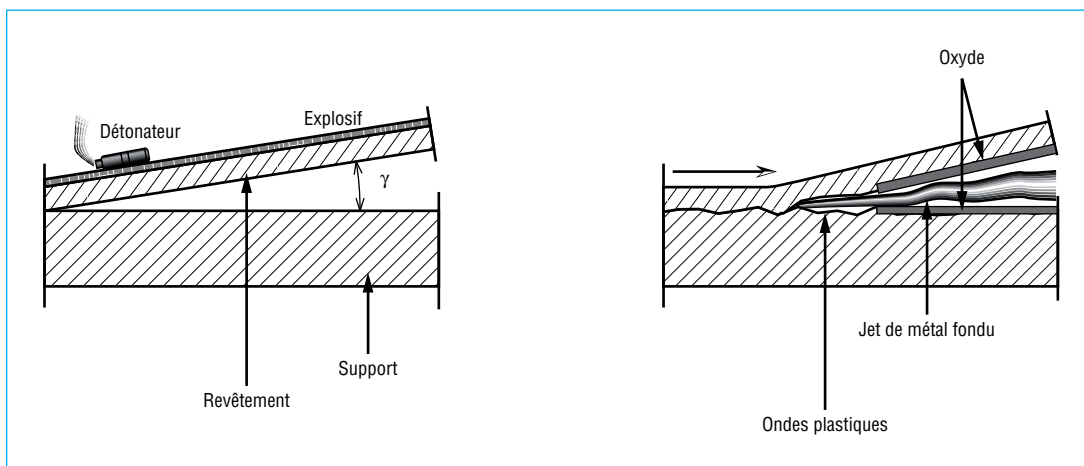


Fig. 14 : Principe du placage par explosions.

VII - MÉTAUX DE REVÊTEMENT

A. Zinc

Le métal parmi les plus utilisés pour la protection de l'acier – Ses applications sont multiples et d'intérêt général. La protection assurée est essentiellement celle contre l'action des atmosphères humides et des eaux naturelles à température ambiante courante.

En milieu particulièrement agressif, un renforcement par peintures est souhaitable.

Immersion de l'objet dans un bain de zinc fondu : la galvanisation

- Pour des pièces telles que boulonnerie, assemblages de petite charpente ou tubes, la galvanisation s'effectue à façon, c'est-à-dire de manière non industrielle. La procédure est réglementée par les normes. On réussit à recouvrir les objets d'une couche d'épaisseur variant de 50 à 140 μm (micromètres).

- Pour les tôles minces, un procédé industriel en continu permet de livrer au consommateur une tôle d'acier galvanisée, recouverte d'une couche de 5 à 40 μm sur chaque face.

La tôle galvanisée est utilisée fort couramment dans le bâtiment sous forme d'éléments de parois, façades, couvertures ou bardage (par exemple les bacs de couverture en tôle nervurée).

Elle est le plus souvent prélaquée en usine. Elle peut être également plastifiée par contrecolage d'une feuille plastique.

Les tôles sont formées ou assemblées :

- mécaniquement (profilage à froid, pliage) ;
- par collage ;
- par soudure.

Dans ce dernier cas, une application locale de peinture riche en zinc rétablit la continuité de la protection endommagée par l'opération. Toutefois, le soudage par points n'est pas possible si l'épaisseur de Zn est forte.

Métallisation au pistolet : zingage – Cette procédure permet la gamme la plus large d'épaisseurs de revêtements appliqués aux structures les plus diverses.

Les épaisseurs généralement recommandées sont :

- en atmosphère intérieure : environ 40 μm ;
- en atmosphère urbaine : environ 80 μm avec colmatage éventuel ;
- en atmosphère marine : environ 120 μm avec colmatage éventuel.

En présence d'eau de mer ou de solutions salines, un complément de peinture vinylique est souhaitable. Le soudage sous toutes ses formes (à l'arc, par points, par soudo-brasage) est possible moyennant certaines précautions.

Électrozingage – Pour la boulonnerie et la visserie électrozinguée, l'épaisseur du revêtement peut varier de 5 à 20 µm seulement.

Pour les tôles que l'on veut électrozinguer en usine, l'épaisseur du dépôt ne dépasse pas 5 µm. Mais après passivation de cette couche par phosphatation ou chromatisation, une application de peinture après simple nettoyage de la surface augmente la résistance à la corrosion. La tôle électrozinguée puis peinte est utilisée usuellement en mécanique et également en bâtiment, pour des panneaux de façade, par exemple.

Cémentation par le zinc : la shéradisation – Cette procédure, utilisée sur la boulonnerie ou la visserie, assure une protection efficace par alliage superficiel de l'acier et du zinc.

Particularités diverses – Une pièce zinguée ou galvanisée n'altère pas les qualités d'adhérence du fer au béton. L'assemblage par soudage ou boulon HR de deux éléments galvanisés est possible moyennant certaines précautions.

B. Aluminium

Une protection quasi analogue à celle du zinc – Il est également très utilisé dans la construction et assure une protection analogue à celle du zinc. Quelques particularités toutefois l'en distinguent :

- sa bonne tenue à la corrosion des atmosphères chargées d'impuretés sulfurées ;
- sa bonne tenue à la corrosion des atmosphères à température de service élevée ;
- sa qualité alimentaire.

Immersion – Aluminage – Les sidérurgistes livrent aux constructeurs des tôles d'acier aluminées qui se travaillent et s'assemblent de la même manière que les tôles galvanisées. Deux types commerciaux existent sur le marché.

Le type 1 possède un revêtement de 25 µm foré par un alliage aluminium-silicium très performant à haute température.

Le type 2 est revêtu d'une couche de 50 µm aluminium pur.

Projection au pistolet – Elle permet des épaisseurs importantes d'aluminium pur, protégeant les charpentes d'acier situées dans les usines aux atmosphères chargées de soufre provenant des fours. D'une utilisation pratique dans certaines industries mécaniques (une couche de 120 µm aluminium reste protectrice même à 700 °C), l'aluminium trouve aussi sa place dans l'industrie chimique (contact avec les essences) ou pharmaceutique (contact avec les aliments).

Cémentation par l'aluminium – Calorisation – La couche de protection obtenue est fort fragile ; elle protège contre l'oxydation les divers matériels soumis à des températures élevées.

C. Revêtements divers

Acier inox – Les revêtements par un acier inox s'effectuent par projection au pistolet, ou par placage d'une couche inox sur l'acier de base.

Ce dernier procédé est celui des tôles industrielles plaquées, surtout destinées à la chaudronnerie industrielle et résistant à la corrosion d'agents chimiques.

Étain – Sa grande qualité réside dans la non-toxicité de ses sels, ce qui explique sa grande diffusion dans la protection des matériels de contact alimentaire.

On trouve sur le marché :

- la tôle étamée par immersion (5 µm) ;
- la tôle étamée par électrolyse, dite en fer blanc (1 µm).

Plomb – Par rapport au fer, son potentiel électrochimique le classe en cathode. Cela explique la nécessité d'avoir une couche suffisamment épaisse et imperméable car toute fissure permet l'attaque de l'acier placé en position anodique.

Sa caractéristique essentielle est sa très bonne résistance aux composés de soufre. La tôle plombée, obtenue par divers procédés industriels, et les ossatures protégées par projection de plomb se retrouvent préférentiellement dans les constructions exposées aux fumées sulfureuses.

Nickel – Chrome – Cuivre – Ils concernent la protection de matériels de mécanique, pour des hautes températures à plus de 800° C (chrome) ou pour diverses industries (cuivre).

VIII - PEINTURES

Le moyen le plus simple et le plus pratique de protection – C'est en réalité le moyen le plus classique et le plus simple de protection des charpentes et ossatures métalliques des bâtiments industriels, qu'il s'effectue par brossage ou par projection au pistolet directement sur le site, après préparation adéquate de la surface à traiter.

L'élément de base est un liant formé d'huiles, de résines ou de caoutchouc, additionné de pigments métalliques tels ceux du zinc ou du plomb, et fluidifié par des solvants.

Ces ensembles n'étant pas toujours compatibles, il est nécessaire d'utiliser un système complet de peintures comprenant une couche primaire d'accrochage, une couche intermédiaire et une couche de finition, compatibles entre elles et assurant chacune un rôle spécifique.

Épaisseur – Une fois la composition du système choisie en fonction de la nature du milieu corrosif, il reste à en déterminer l'épaisseur selon son agressivité. Les valeurs conseillées sont les suivantes :

- milieu protégé : 40-50 µm ;
- atmosphère intérieure sèche : 60-80 µm ;
- atmosphère intérieure humide : 80-120 µm ;
- atmosphère extérieure rurale : 80-120 µm ;
- atmosphère extérieure urbaine : 120-200 µm ;
- atmosphère extérieure marine : 150-200 µm.

Préventions – Certaines conceptions des ouvrages sont dangereuses. On évitera d'accumuler les eaux dans des parties creuses ou des recoins sans écoulement suffisant. On préférera des cordons de soudure continus supprimant les interstices. On veillera à aménager un accès convenable aux éléments à peindre. La vitesse de corrosion peut varier de 1 µ/an à 10 µ/an selon l'agressivité ambiante.

IX - PROTECTION PAR LE BÉTON

Enrobage béton – La protection des armatures de béton armé est assurée en général par l'enrobage béton minimum. En effet, le milieu n'est pas en lui-même corrosif, car la chaux contenue dans la plupart des ciments assure au béton un pH alcalin de l'ordre de 12,5 qui passive le fer et le rend insensible à la corrosion.

L'enrobage, qui doit néanmoins être d'une épaisseur de 3 cm pour des aciers courants de 16 mm, le protège contre la décalcification due aux eaux qui accroissent la porosité et la perméabilité du béton, et mettent l'acier en contact avec l'eau et l'oxygène, ses deux grands ennemis.

GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre, leurs compléments et mises à jour,** et bénéficiez des **services inclus.**



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- Automatique - Robotique
- Biomédical - Pharma
- Construction et travaux publics
- Électronique - Photonique
- Énergies
- Environnement - Sécurité
- Génie industriel
- Ingénierie des transports
- Innovation
- Matériaux
- Mécanique
- Mesures - Analyses
- Procédés chimie - Bio - Agro
- Sciences fondamentales
- Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant toute la durée de la souscription



Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



Impression à la demande

Commandez les éditions papier de vos ressources documentaires



Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

ILS NOUS FONT CONFIANCE



www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com