Manuel Corrosion

Juillet 2015

Introduction

La corrosion est un processus naturel omniprésent. La plupart d'entre nous, pendant notre vie quotidienne, ont pu observer les effets de la corrosion sur des pièces en acier rouillé. La corrosion a un impact économique énorme. Environ un cinquième de la production annuelle d'acier mondial sert simplement à remplacer des pièces en acier endommagées par la corrosion. Même si elle augmente les coûts initiaux, une protection correcte et efficace contre la corrosion à la source permet d'économiser de l'argent et des ressources sur le long terme. Pour les fixations, c'est encore plus critique car la sécurité est là primordiale. Une défaillance due à la corrosion peut avoir des conséquences dramatiques.

L'objectif de cette brochure est de sensibiliser sur les effets de la corrosion, en fournissant des informations de base sur la corrosion et sur le comportement des matériaux utilisés pour protéger nos produits de la corrosion.

Hilti est conscient de ses responsabilités et mène donc en laboratoire et sur le terrain des essais pour évaluer la résistance à la corrosion de ses produits. Certains essais à long terme ont commencé dans les années 1980 et sont toujours en cours aujourd'hui.
Grâce à son centre de recherche interne et une étroite collaboration avec des universités et des laboratoires de renom, Hilti est en mesure d'offrir des solutions adaptées avec une protection contre la corrosion la plus approprié pour une large variété de conditions environnementales.

Néanmoins, le choix des matériaux ou de la méthode de protection contre la corrosion pour une application spécifique reste de la responsabilité de l'utilisateur. Les représentants et ingénieurs Hilti pourront fournir une assistance supplémentaire. Ils seront également en mesure d'apporter un soutien à tout moment avec des spécialistes de notre département Recherche & Technologie, permettant de profiter de la richesse des savoir-faire approfondi dont ils disposent.

Sommaire

Introduction **2**

1. Les basiques de la corrosion **5**

1.1. Qu'est-ce-que la corrosion ? 5

1.2. Formes de corrosion 7

1.2.1. Corrosion uniforme / corrosion par piqûres faible 7

1.2.2. Corrosion par piqûres 8

1.2.3. Corrosion caverneuse 9

1.2.4. Fissuration induite par l'environnement 10

1.2.5. Corrosion intercristalline (intergranulaire) 12

1.2.6. Corrosion galvanique (contact) 13

2. Evaluation de la corrosion et méthodes de qualification des produits chez Hilti **14**

2.1. Objectifs des essais de corrosion 14

2.2. Essais en laboratoire 14

2.3. Essais sur le terrain 18

3. Solution Hilti de protection contre la corrosion **20**

3.1. Corrosion et protection contre la corrosion de l'acier au carbone 21

3.2. Comportement à la corrosion de l'acier inoxydable 25

3.3. Prévention de la corrosion galvanique 29

4. Comment évaluer la corrosion dans un environnement/application spécifique **31**

4.1. Facteurs influant sur la corrosion atmosphérique 31

4.2. Évaluation de la corrosivité pour les produits revêtus de zinc 34

4.3. Évaluation de la corrosivité pour les produits en acier inoxydable 36

5. Comment sélectionner un système de fixation ou de supportage approprié **39**

5.1. Choisir la bonne protection contre la corrosion pour les chevilles, clous et vis 42

5.2. Choisir la bonne protection contre la corrosion pour les clous bois 43

5.3. Choisir le bon système de supportage 44

6. Bibliographie **45**

7. Avertissement **47**

1. Les basiques de la corrosion

1.1. Qu'est-ce-que la corrosion ?

La corrosion est l'interaction physicochimique entre un métal est son environnement, ce qui entraîne des changements dans les propriétés du métal et qui peut conduire à une insuffisance fonctionnelle significative du métal, de l'environnement ou du système technique dont ils font partie (voir ISO 8044:2010)

Techniquement, nous parlons seulement de corrosion lorsqu'il y a une un changement dans les propriétés du métal ou du système qui peut conduire à un résultat indésirable. Cela peut aller tout simplement d'une déficience visuelle à la rupture complète d'un système, engendrant des pertes économiques importantes voire même un danger pour les personnes.

Avec les matériaux couramment utilisés dans l'ingénierie, tels que le carbone, l'acier inoxydable, le zinc, le cuivre et l'aluminium, le processus typique de la corrosion peut être considéré comme la réaction inverse à un gain de métal favorisé par la thermodynamique (voir Figure 1)

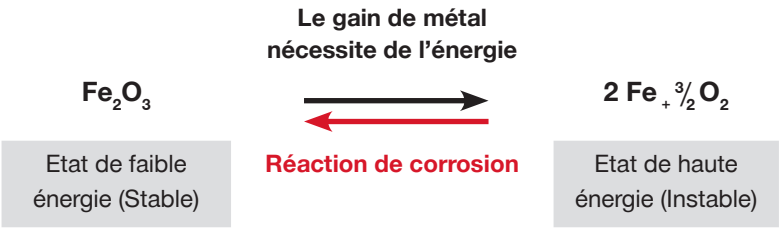


Fig. 1: Réaction chimique du fer pendant les processus de corrosion et de gain de métal.

Types de réactions à la corrosion

Comme toutes les réactions chimiques, les processus de corrosion ont lieu lorsque les conditions sont favorables à des réactions chimiques connexes (thermodynamique). Ensuite, d'autres facteurs potentiels influent sur la vitesse de réaction (cinétique). Nous allons faire une distinction entre les types de corrosion, décrivant de façon générale l'interaction entre le métal et l'environnement, et les formes de corrosion décrivant l'aspect phénoménologique.

Réaction chimique

Une réaction typique de la corrosion chimique se produit à des températures élevées lorsque le métal réagit avec les gaz chauds et forme une couche d'oxyde.

Réaction métallo physique

Un exemple de celui-ci est la fragilisation provoquée par l'hydrogène qui se diffuse dans le métal, et qui peut conduire à la rupture d'un composant.
La fragilisation peut-être le résultat d'un procédé de fabrication négligé, par exemple lorsque les revêtements de surface tels que le plaquage de zinc électrochimique ne sont pas appliqués correctement sur des produits en acier à haute résistance. Il peut également être initié par des processus de corrosion (dissolution du métal). Dans ce dernier cas, il fait référence à la corrosion induite par la fissuration assistée à l'hydrogène.

Réaction électrochimique (type de corrosion le plus fréquent)
La réaction de corrosion la plus courante est de nature électrochimique. Ces réactions impliquent un échange électrique par l'intermédiaire d'électrons dans le métal et d'ions dans un conducteur électrolyte, tel qu'un film d'eau sur sa surface. La réaction globale peut être séparée en deux réactions partielles :

- Dissolution du métal, également appelée oxydation ou réaction anodique
  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2\ e^-$
- Réduction ou réaction cathodique, une réaction impliquant principalement l'oxygène présent dans l'air humide
  $O_2 + 2\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 4\ OH^-$

Ces deux réactions partielles peuvent avoir lieu à la surface du métal dans une proportion assez homogène, conduisant à une attaque uniforme (voir paragraphe 1.2.1) ou peuvent se produire localement et séparément, conduisant à des formes localisées de corrosion telles que corrosion par piqûres.

Le mécanisme et la nature électrochimique de la réaction de corrosion définissent les exigences nécessaires pour qu'un phénomène de corrosion se produise :
- Un métal conducteur
- Un électrolyte (un mince film d'humidité sur la surface est déjà suffisant)
- De l'oxygène pour la réaction cathodique

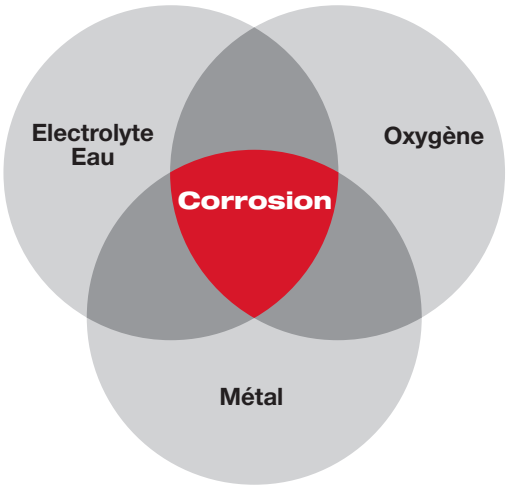


Fig. 2: Exigences pour la réaction de corrosion atmosphérique

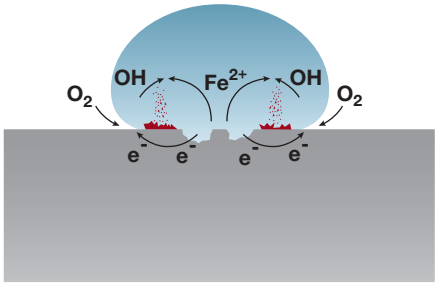


Fig. 3: Corrosion du fer sous une goutte d'eau, montrant la dissolution du métal, la réduction de l'oxygène et la formation de rouille.

La figure 2 représente le mécanisme de corrosion basique du fer sous une goutte d'eau. Les deux réactions de dissolution de métal et de réduction de l'oxygène ont lieu avec une légère séparation sur la surface, et leurs produits (Ions Fe- et ions OH-) réagissent dans cette goutte d'eau pour former de la rouille rouge.
En général, le même schéma s'applique à d'autres métaux, tels que le zinc ou l'aluminium mais avec des réactions chimiques différentes dans l'électrolyte.

Avec ce modèle simple de réaction de la corrosion, nous sommes en mesure d'expliquer de nombreuses formes de corrosion et également de déduire des mesures pour atténuer la corrosion. En prévenant ou en ralentissant une des réactions partielles, la vitesse de corrosion globale est également réduite.

1.2. Formes de corrosion

1.2.1. Corrosion uniforme / corrosion par piqûres faible

La corrosion uniforme est une forme de corrosion où la surface est enlevée de façon presque égale. Les réactions partielles (dissolution du métal et réduction de l'oxygène) sont statistiquement réparties sur la surface, conduisant à une dissolution plus ou moins homogène du métal et de formation uniforme des produits de corrosion (par exemple, rouille rouge sur acier). L'ampleur de cette forme de corrosion est généralement bien estimée sur la base de l'expérience passée. La vitesse de corrosion est généralement donnée en micromètres par an (µm/a).
En utilisant ces valeurs moyennes, il est possible de calculer la durée de vie attendue d'un composant, et donc d'améliorer sa durée de vie en augmentant son épaisseur. Par exemple, la corrosion uniforme a lieu, sur l'acier au carbone non protégés et sur l'acier revêtu de zinc dans des conditions atmosphériques.

En réalité, l'attaque par la corrosion purement homogène est peu probable. Il y a toujours une zone, en particulier sur les pièces métalliques complexes, qui corrodent plus rapidement que d'autres conduisant à une surface plus ou moins rugueuse avec un revêtement irrégulier de produits de corrosion (voir Figure 4).

Fig. 4: Corrosion d'éléments en acier.

1.2.2. Corrosion par piqûres

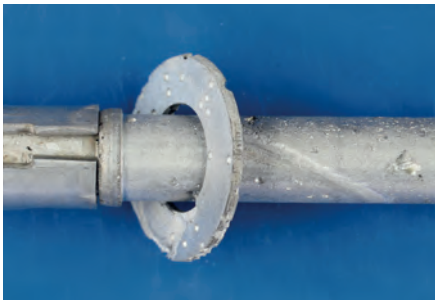
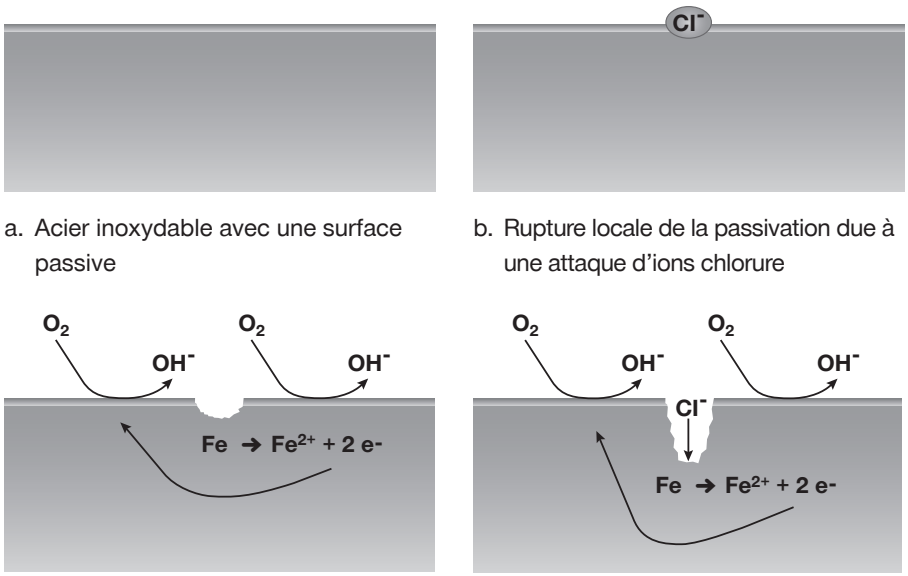


Fig. 5: Exemple de corrosion par piqûre sur un produit en acier inoxydable

La corrosion par piqûres est une forme localisée de corrosion qui conduit à la création de petits trous ou «puits» dans le métal (voir Figure 5). Cette forme de corrosion se trouve principalement sur les métaux passifs. Les métaux et alliages passifs, tels qu'aluminium, titane et acier inoxydable, doivent leur résistance à la corrosion à une fine couche d'oxyde sur leur surface d'une épaisseur de quelques nanomètres. Le processus d'initiation de la corrosion commence par une rupture locale de la couche passive. Par exemple, l'attaque locale de corrosion sur des aciers inoxydables peut commencer par des ions de chlorure.

La figure 6 montre les phases les plus significatives de ce phénomène de corrosion sur acier inoxydable. La corrosion par piqûres peut être assez problématique. Par opposition à la corrosion uniforme sur la surface que l'on peut voir clairement, la corrosion par piqûres apparaît souvent comme de petits trous d'épingle sur la surface. La quantité de matière enlevée au-dessous des trous d'épingle est généralement inconnue, comme des cavités cachées peuvent se former, ce qui rend la corrosion par piqûres plus difficile à détecter et à prévoir. Techniquement, il n'y a aucun moyen raisonnable de contrôler la corrosion par piqûres. Cette forme de corrosion doit être exclue dès le départ par des considérations de conception et l'utilisation du bon matériau.

De plus, la corrosion par piqûres est souvent le point de départ pour des formes plus sévères de corrosion telle que fissuration par corrosion (voir section 1.2.4).



a. Acier inoxydable avec une surface passive

b. Rupture locale de la passivation due à une attaque d'ions chlorure

c. Début de corrosion sur une partie active (non passive) de la surface

d. Dissolution anodique du fer dans le puits, la réduction de l'oxygène a lieu à l'extérieur

Fig. 6: Phase de corrosion par piqûres sur acier inoxydable

1.2.3. Corrosion caverneuse

Une corrosion caverneuse se réfère à la corrosion se produisant dans des fissures ou des crevasses formées entre deux surfaces (constitués du même métal, des métaux différents ou même un métal et un matériau non métallique). Ce type de corrosion est amorcé par l'entrée limitée de l'oxygène contenu dans l'air par diffusion dans la zone de la crevasse conduisant à différentes concentrations d'oxygène dissous dans l'électrolyte commun (appelé cellule d'aération). Encore une fois, les deux réactions partielles auront lieu sur différentes parties de la surface. La réduction de l'oxygène a lieu dans les zones extérieures avec des concentrations en oxygène plus élevées facilement accessibles par l'air environnant, alors que la dissolution du métal anodique se produit dans la zone de crevasse résultant une attaque localisée (par exemple piqûres). Elle peut également se produire dans des rondelles ou des joints d'étanchéité, lorsque l'étanchéité de l'eau par le dessous n'est respectée. (Voir Fig. 7).
Il existe des limites inférieure et supérieure à la taille d'une crevasse dans laquelle peut être induite la corrosion. Si la crevasse est trop fine, la corrosion par électrolyte ne sera pas présente. Si la crevasse est trop large pour réduire l'entrée d'oxygène, la cellule d'aération et, par conséquent différentes concentrations d'oxygène ne peuvent pas se développer. Cependant, la largeur critique de la crevasse dépend de plusieurs facteurs tels que le type des métaux concernés, l'environnement corrosif et cycles humide / sec.

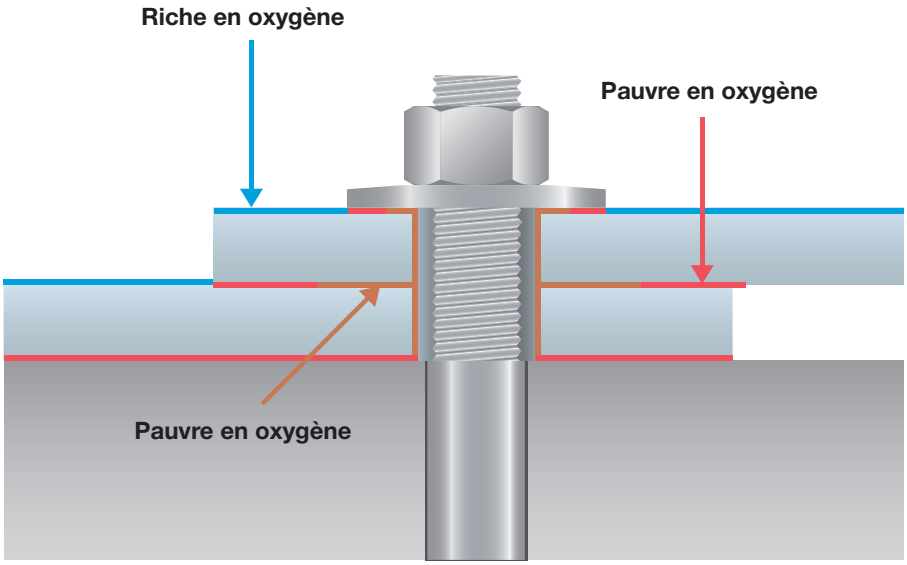
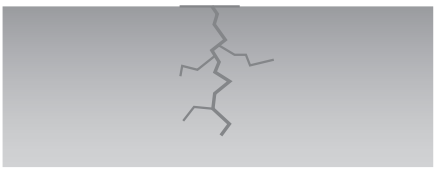


Fig. 7: Zones possibles de corrosion caverneuse dans une fixation

1.2.4. Fissuration induite par l'environnement



Fissuration par corrosion sous contrainte (SCC)

La fissuration par corrosion sous contrainte (SCC) est un processus de corrosion mécanique et électrochimique qui se traduit par la fissuration de certains matériaux. Elle peut conduire à la rupture soudaine et inattendue des métaux ductiles, normalement soumis à des niveaux de contraintes inférieurs à leur limite d'élasticité. Les contraintes internes dans un matériau peuvent être suffisantes pour amorcer une attaque de fissures par la corrosion.
La fissuration par corrosion sous contrainte est non seulement un chevauchement de la corrosion et des contraintes mécaniques, mais peut être comprise comme un auto-catalytique, auto-accélérant le processus conduisant à des taux de dissolution élevés des métaux (réaction anodique). Initialement, une petite piqûre est formée et se développe dans une fissure due à la contrainte appliquée ou résiduelle dans le matériau. La formation de fissures ouvre une nouvelle (non passive) surface active de métal, qui encore une fois se corrode très facilement. Cela conduit à la propagation de la fissure et de nouveau à l'exposition de nouvelles surfaces métalliques hautement actifs dans la fissure. La dissolution du métal dans la fissure fera progresser rapidement la corrosion jusqu'à la rupture mécanique se produise.
La fissuration par corrosion est une forme très spécifique de corrosion qui se produit uniquement lorsque les trois conditions suivantes sont remplies en même temps. (Voir Figure 9)

- Mécanique (charges, effort)
- Matière (alliage sensibles, par exemple acier inoxydable austénitique)
- Environnement (Très corrosif, chlorures)

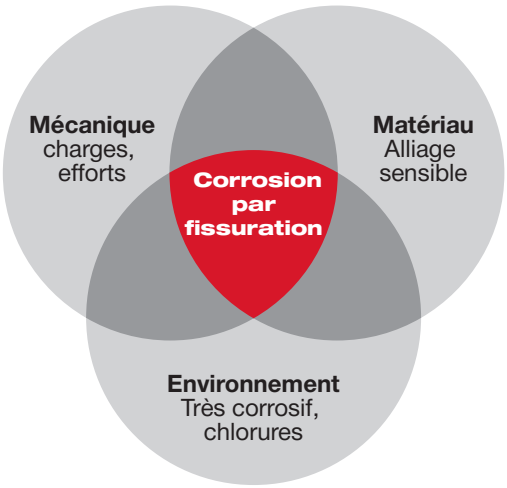


Fig. 9: Facteurs nécessaires à l'apparition de fissuration par corrosion sous contrainte

Fig. 8: Fissuration par corrosion sous contrainte d'une platine de nuance 1.4301 (A2, 304), après environ 4 ans d'utilisation dans une piscine couverte.

Il est bien connu que certaines nuances d'acier inoxydable austénitique peuvent souffrir de fissuration par corrosion sous contrainte dans des environnements difficiles tels que les piscines intérieures. Dans la plupart des cas, la corrosion est initiée par les chlorures qui attaquent la couche passive.

Fissuration par hydrogène

La fissuration par hydrogène est due à la diffusion d'atomes d'hydrogène dans le métal. La présence d'hydrogène dans le réseau affaiblit la tenue mécanique du métal et conduit à la croissance des fissures et à la rupture fragile des matériaux à des niveaux inférieurs à leur limite d'élasticité. Comme les fissures par corrosion, elle peut conduire à une défaillance soudaine de pièces métalliques, sans aucun signe avant-coureur détectable.
Dans les applications courantes, les dommages d'hydrogène ne concernent que l'acier à haute résistance avec une résistance à la traction d'environ 1000 N/mm² ou plus.

De la même manière, pour la fissuration par hydrogène, trois conditions différentes doivent être présentes au même moment (voir la figure 10) :

- Mécanique (charge, efforts)
- Matière (structure de dureté)
- Environnement (hydrogène interne externe)

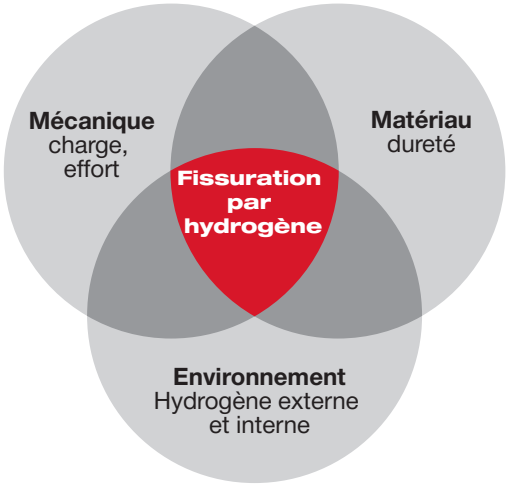
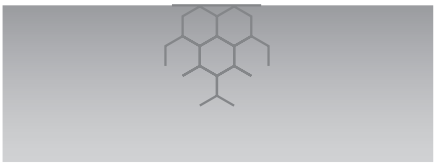


Fig. 10: Facteurs nécessaires pour l'apparition de fissuration par hydrogène

La source d'hydrogène peut être le processus de production tels que la fabrication d'acier, décapage et électro zingage (hydrogène primaire). Une source secondaire peut être l'hydrogène formé au cours d'un processus de corrosion. Pendant le processus de corrosion, de l'hydrogène est formé et se répand dans le matériau. Cet apport d'hydrogène conduit à une diminution de la ductilité ou la rugosité d'un métal.

1.2.5. Corrosion intercristalline (intergranulaire)



La corrosion intercristalline est une forme particulière de corrosion localisée, où l'attaque corrosive se déroule dans un chemin très étroit de préférence le long des joints d'une structure métallique. L'effet le plus commun de cette forme de corrosion est une désintégration mécanique rapide (perte de ductilité) de la matière. Habituellement, elle peut être évitée en utilisant les bons matériaux durant le processus de production.

Un exemple bien connu dans l'industrie de la construction est la sensibilisation de l'acier inoxydable. Lorsque certaines nuances de ce matériau sont maintenues à une température comprise entre 500 ° C et 800 ° C pendant un laps de temps considérable (par exemple, lors de soudage), des carbures riches en chrome sont formés, conduisant à l'épuisement du chrome aux niveaux des joints de structures. Par conséquent, les joints possèdent un degré de résistance inférieur à la corrosion que le matériau résiduel, ce qui peut conduire à une attaque corrosive localisée. (Voir Fig. 11).

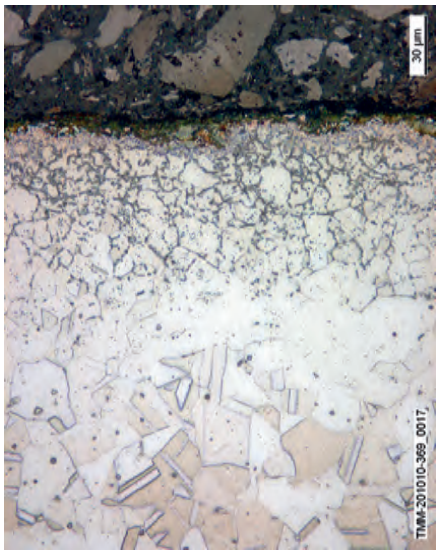


Fig. 11: Image d'une attaque sélective, faite à l'aide d'un microscope électronique à balayage (zone soudée d'une nuance 1.4401, (A4, 316) .

1.2.6. Corrosion galvanique (contact)

La corrosion galvanique se réfère à des dommages de corrosion où deux métaux différents ont une connexion électriquement conductrice et sont en contact avec un électrolyte corrosif commun. Dans le modèle de corrosion électrochimique, une des deux réactions partielles (dissolution anodique du métal et réduction cathodique de l'oxygène) a lieu presque exclusivement sur un métal.

Généralement, le métal le moins noble sera dissout (dissolution anodique du métal), alors que le métal le plus noble ne sera pas attaqué par la corrosion (il sert uniquement de cathode pour la réduction de l'oxygène). Lorsqu'une corrosion galvanique se produit, le taux de corrosion du métal moins noble est supérieur à ce qu'il serait dans un environnement corrosif libre sans contact à un autre métal.

En utilisant les données thermodynamiques et en tenant compte de l'expérience passée, il est possible de prédire quelles combinaisons de matériaux seront affectées par la corrosion galvanique (voir paragraphe 3.3). Un exemple positif de l'utilisation active du phénomène de corrosion galvanique décrit ici la façon dont le zinc protège les aciers au carbone et des aciers faiblement alliés. Le zinc est le métal le moins noble qui protège activement l'acier en se corrodant (voir Figure 12).

Fig. 12: Cas typique de corrosion de contact. Acier au carbone zingué (rondelle) et acier inoxydable (vis et pièce fixée) ont été utilisés ensemble. La surface spécifique du métal plus noble - l'acier inoxydable - est plus grande, ce qui provoque une forte corrosion de la rondelle.

2. Evaluation de la corrosion et méthodes de qualification des produits chez Hilti

Hilti conduit des essais approfondis sur la corrosion en laboratoire et sur le terrain pour évaluer la protection contre la corrosion de ses produits. Grace à tous ces essais, Hilti peut proposer de nombreuses solutions de protection contre la corrosion pour différentes conditions environnementales.

De nombreuse méthodes pour tester la résistance à la corrosion sont propres à des matériaux particuliers et sont basées sur les conditions qui prévalent dans certains environnements. Un grand nombre de facteurs influent sur le comportement de la corrosion. Il n'y a donc pas d'essai sur la corrosion unique et universel couvrant tous les aspects des matériaux utilisés. L'indicateur le plus fiable du comportement à la corrosion est l'expérience passée mais ces informations ne sont pas toujours disponibles. Pour cette raison, d'autres essais sont nécessaires, c'est à dire des essais en laboratoire accélérés et des essais sur le terrain. En outre, il est nécessaire de tester les produits dans les conditions réelles par rapport à l'application dans lesquelles ils doivent être utilisés. La protection contre la corrosion sur les éléments de fixation est donc également testée avec les éléments installés sur de l'acier ou du béton, afin de simuler le plus possible les dommages survenant pendant le processus d'installation.

Les essais de corrosion forment une méthode appropriée pour évaluer de nouveaux produits et de les comparer avec les systèmes de protection contre la corrosion connus. Toutefois, ces essais ne sont pas suffisants pour qualifier un produit pour une application particulière comme la corrosivité de l'environnement peut être très différente d'un projet à l'autre. En fin de compte, il est de la responsabilité de l'utilisateur de choisir la protection contre la corrosion approprié basée sur des informations détaillées sur l'application, l'expérience passée et les connaissances fondamentales sur le sujet.

2.1. Objectifs des essais de corrosion

Des essais de corrosion accélérés en laboratoire représentent l'état de l'art lorsqu'il s'agit d'évaluer de la performance des matériaux, car ils représentent des conditions standardisées et reproductibles et ils permettent une évaluation après une courte période d'essai (jours ou semaines).

Une utilisation importante de ce type d'essais concerne le contrôle de la qualité de revêtements de protection contre la corrosion. Afin de passer le contrôle qualité, les produits doivent présenter les performances requises (par exemple deux jours sans présenter de rouille rouge). En outre, ces types d'essais sont très utiles en développement de produits, où l'analyse et la classification des nouveaux revêtements et de nouveaux produits peuvent s'avérer cruciaux.

2.2. Essais en laboratoire

Dans nos centres de recherche interne, Hilti réalise des essais de corrosion les plus pertinents possible pour tester nos produits (voir figure 13).

Fig. 13: Laboratoire d'essai Hilti avec des chambres de brouillard salin et de corrosion cyclique.

Essai de brouillard salin neutre: EN ISO 9227

L'essai de brouillard salin neutre est l'un des essais accéléré de corrosion le plus ancien et le plus couramment utilisé. Les échantillons sont exposés en permanence à un brouillard salin réalisé à partir d'une solution de chlorure de sodium de 5%. L'essai de brouillard salin n'est pas approprié pour simuler et évaluer la protection contre la corrosion dans des atmosphères réelles en raison d'une concentration élevée en chlorure et une absence de périodes sèches. Cependant, c'est un essai pratique pour examiner des systèmes de protection contre la corrosion. Hilti utilise l'essai de brouillard salin pour vérifier l'homogénéité des couches de zinc sur les fixations lors de la production (voir Figure 14 et 15).

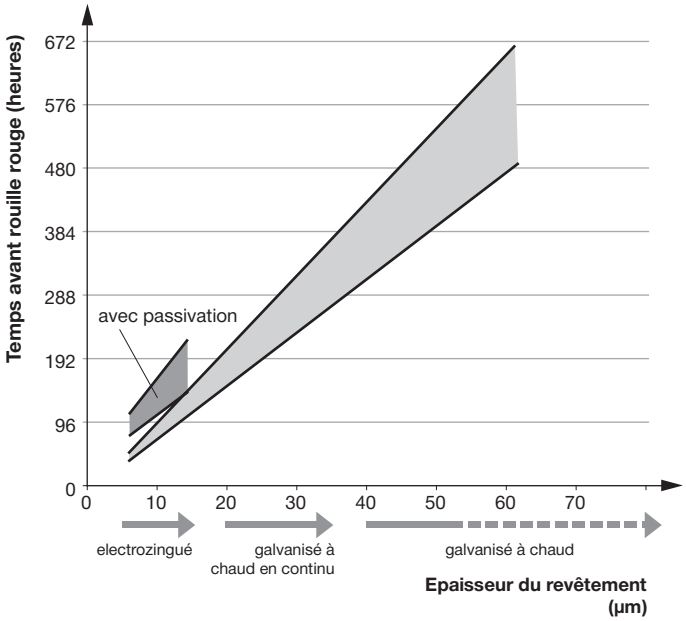


Fig. 15: Temps typique jusqu'à la première apparition de rouille rouge (corrosion de l'acier) dans le brouillard salin pour des produits zingués avec une épaisseur de revêtement différente.

Fig. 14: Vis électro-zingués avec environ 5 µm de revêtement en zinc.
Apres un essai de brouillard salin :
48 h (image du haut)
96 h (image du bas)

Essai de corrosion cyclique ; EN ISO 16701

Dans l'essai de corrosion cyclique selon la norme EN ISO 16701, la température et l'humidité relative sont modifiées pour simuler des cycles typiques secs / humides comme celles qui se déroulent dans des environnements extérieurs naturels. En outre, les échantillons sont arrosés avec une solution diluée de chlorure de sodium (1%), deux fois par semaine pour induire la corrosion. En raison des cycles secs / humides ainsi que la concentration de chlorure inférieure, cet essai est mieux adapté que l'essai de brouillard salin pour déclencher les processus de corrosion naturelles. Cependant, il nécessite des essais plus longs (plusieurs semaines) (voir Figures 16 et 17).

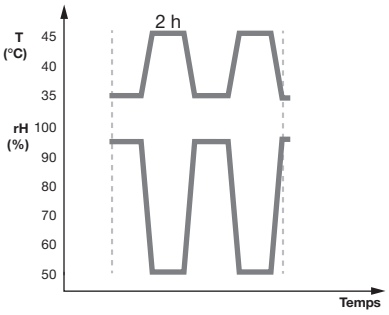


Fig. 16: Cycles de température et d'humidité pour l'essai de corrosion cyclique selon ISO 16701 : Deux fois par semaine, une solution de 1% NaCl est pulvérisée sur les échantillons (3x15 minutes)

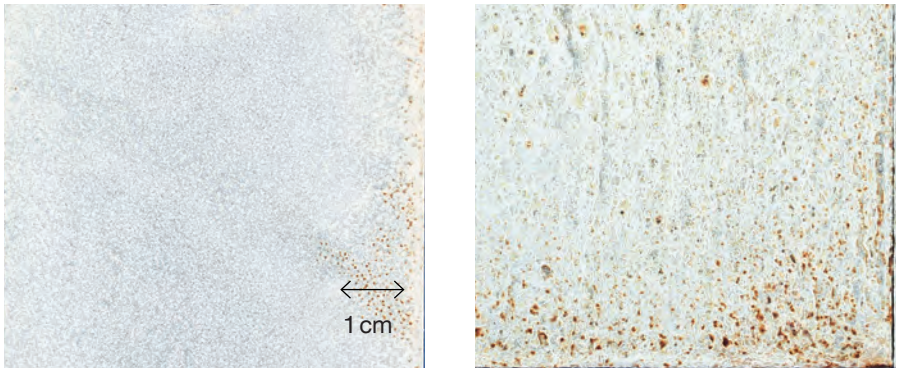


Fig. 17: Acier zingué galvanisé à chaud après une année dans un climat côtier tropical (à gauche) et après 12 semaines d'essai de corrosion cyclique selon ISO 16701 (à droite). Des comportements similaires sont observés pendant l'essai sur le terrain et l'essai de corrosion cyclique.

Fig. 18: Partie de connecteur avec un revêtement multicouche après dix semaines d'essai au rayonnement UV selon ISO 20340

Essai de corrosion cyclique avec exposition à un rayonnement UV : ISO 20340

En complément, cet essai expose les échantillons à un rayonnement ultraviolet de haute énergie. Il est combiné à la condensation de l'eau, avec une exposition de chlorure et une période gel (voir Figure 19). Les polymères organiques tels que les peintures et vernis peuvent montrer des dégradations lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil. Cet essai est donc utilisé principalement pour les produits avec des revêtements organiques (voir figure 18). En plus de l'aspect corrosion, il est également utilisé pour vérifier l'effet du vieillissement sur les produits sensibles aux UV tels que des pièces en plastique.

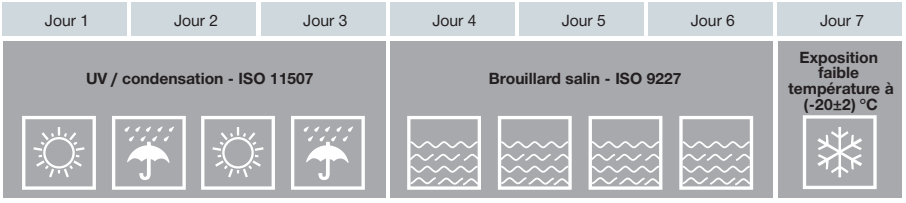


Fig. 19: Procédure de l'essai de corrosion cyclique combiné à une exposition à des rayonnements UV, brouillard salin et cycle gel/dégel selon ISO 20340

Essai d'humidité: EN ISO 6270 et essai Kesternich (dioxyde de soufre) : EN ISO 6988

Dans l'essai d'humidité, les échantillons sont exposés à une atmosphère de 100% d'humidité relative. Cet essai peut être combiné avec l'ajout d'une certaine quantité de gaz de dioxyde de soufre. Cela entraînera un environnement hautement corrosif et acide pour simuler l'effet de la pollution industrielle lourde (voir figure 20).

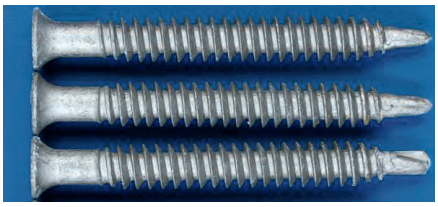


Fig. 20: Vis avec revêtement multi couche avec haute résistance à la corrosion après 15 cycles d'essai de corrosion au dioxyde de soufre Kesternich (ne montre aucun signe de corrosion).

Electrochimie

La nature électrochimique du processus de corrosion rend les techniques électrochimiques un instrument utile pour l'analyse des réactions de corrosion pour certains matériaux. En plus des essais accélérés de corrosion, notre laboratoire est équipé d'un appareillage d'essai électrochimique (potentiostat) principalement utilisé pour les études de la corrosion par piqûres et le comportement de re-passivation de l'acier inoxydable.

Laboratoire métallographique

L'interprétation correcte des résultats des essais accélérés de corrosion ainsi que des essais d'exposition sur le terrain doit inclure différentes méthodes analytiques. Notre laboratoire de métallographie est équipé d'un microscope électronique à balayage ainsi qu'une analyse élémentaire pour effectuer des examens plus profonds de nos produits (voir Figures 21, 22 et 23).

Fig. 21: Microscope électronique à balayage (SEM).

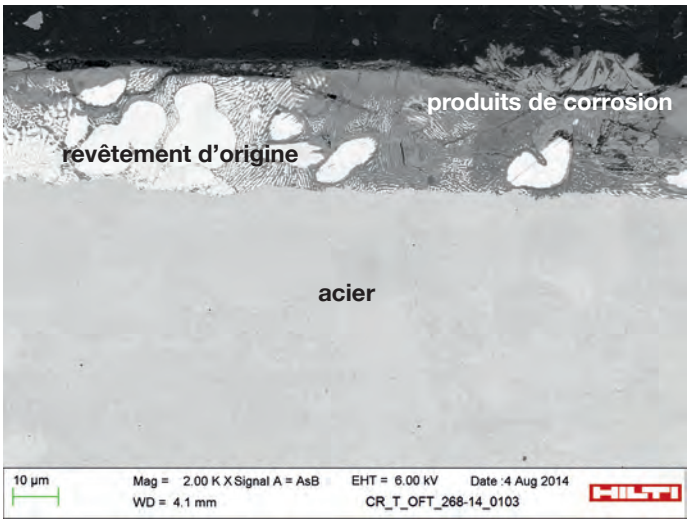


Fig. 22: Vue en coupe métallographique au microscope électronique à balayage d'un revêtement en alliage de Zn au bout de trois ans d'exposition à un climat côtier.

Fig. 23: Equipement du laboratoire métallographique (meulage et polissage)

2.3. Essais sur le terrain

La protection contre la corrosion des produits peut être évaluée plus précisément lors d'essais d'exposition d'échantillons et de produits dans des conditions atmosphériques environnementales réelles.
A cet effet, Hilti mène plusieurs essais sur le terrain pour ses produits dans divers endroits partout dans le monde, avec des conditions allant du froid tempéré à tropical, et des atmosphères côtières aux atmosphères industrielles et même en mer (voir figure 24).

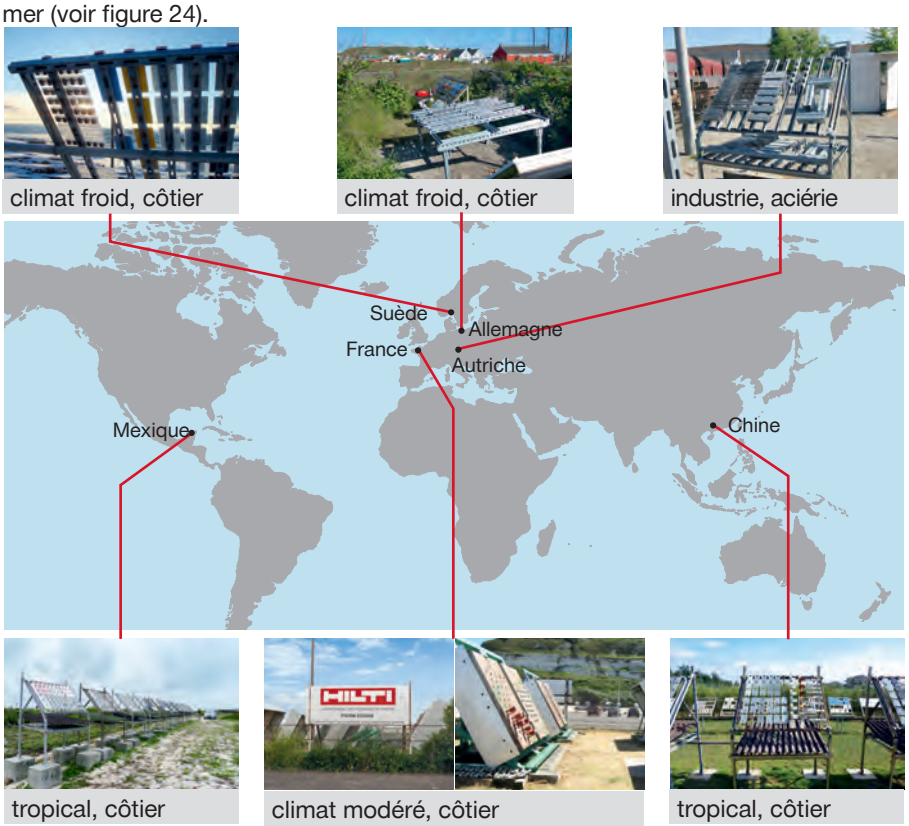


Fig. 24: Sites Hilti d'essai sur le terrain d'exposition

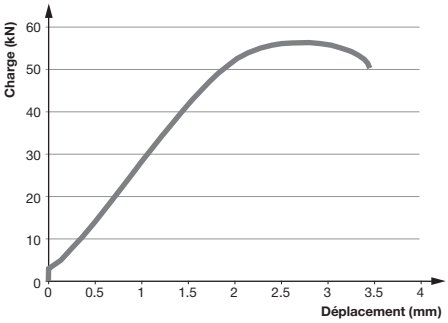


Fig. 25: Courbe charge- déplacement typique pour une fixation installée depuis 16 ans dans un environnement côtier

Un site sur le port du Havre sur la côte atlantique en France est exploité par Hilti depuis les années 1980. Sur ce site, nous analysons le comportement à la corrosion de nos fixations, mais également leur fonctionnalité à long terme. Les éléments de fixation, et notamment des chevilles, sont fixés dans du béton. Après certaines périodes de temps, les valeurs de charge résiduelles sont mesurées par essais d'arrachement (voir figure 25).

Dès le début des années 1980 et jusqu'en 2005, Hilti a également effectué des études approfondies sur le comportement de la corrosion de divers matériaux dans les tunnels routiers dans les Alpes. Ces observations à long terme ont permis d'améliorer la performance de nos produits dans ces environnements hautement corrosifs et ainsi fournir à nos clients des systèmes de fixation très fiables pour une utilisation dans ces conditions environnementales. La nuance d'acier inoxydable à haute protection 1.4529 (HCR) a prouvé être le seul matériau qui ne présente aucun signe de corrosion. Les résultats de ces études ont également influencé les codes de calcul et les normes pour les fixations en acier inoxydable utilisées pour des applications en tunnel (voir figure 26).

Fig. 26: Les tunnels routiers présentent un environnement très corrosif (salage des routes en hiver et les gaz d'échappement provenant de la circulation).

Nos fixations et nos produits d'installation ne sont pas les seuls produits qui ont été testés minutieusement. Les outils électroportatifs Hilti subissent également de nombreux essais de fonctionnement combinés avec des conditions de corrosion typiques. Cela garantit des performances élevées, même dans des environnements difficiles (voir figure 27).

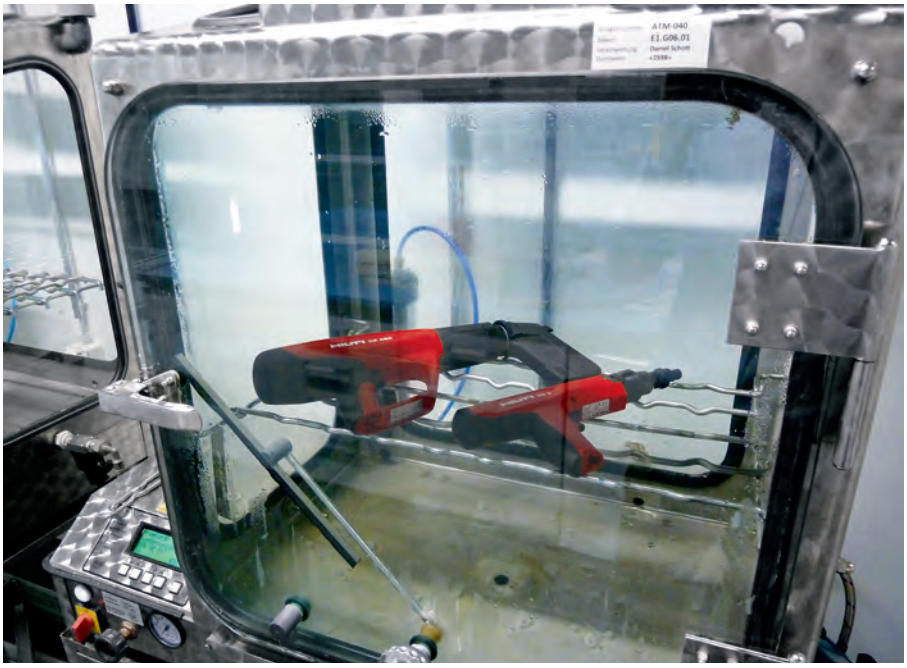
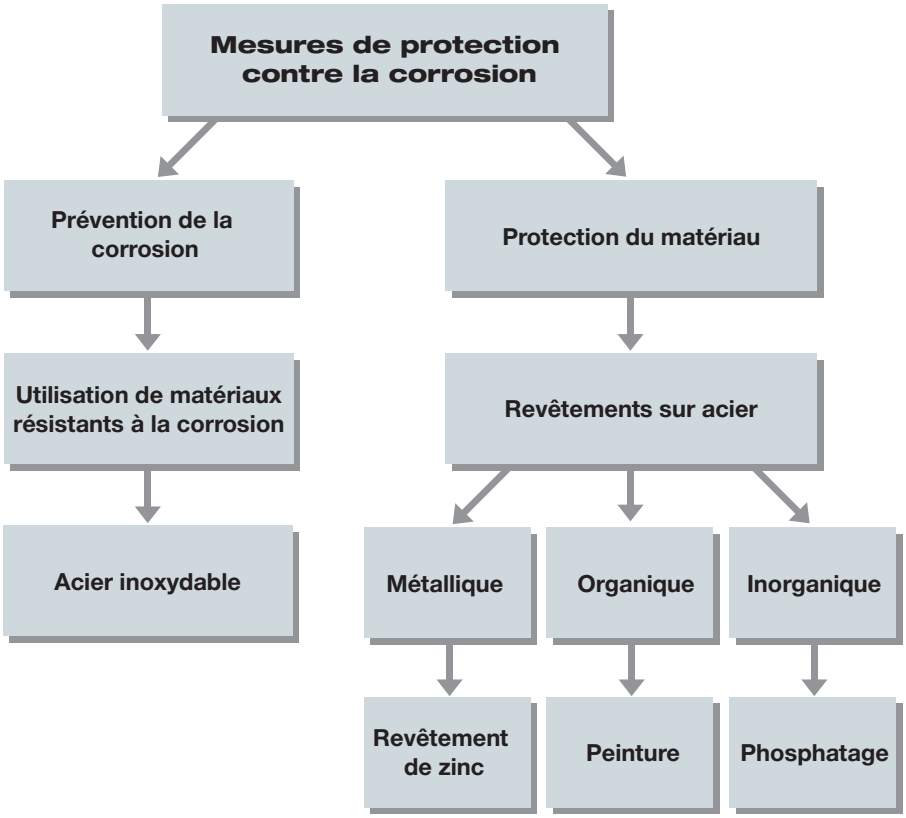


Fig. 27: Cloueurs dans une chambre humide

3. Solution Hilti de protection contre la corrosion

Les solutions de protection contre la corrosion utilisées pour les produits Hilti, leur comportement et leur résistance à la corrosion pour certaines applications sont décrites dans cette section

Classification des mesures de protection contre la corrosion



Le tableau ci-dessous donne un aperçu des revêtements de protection contre la corrosion utilisés pour les produits Hilti.

Tableau 1: Revêtements de protection contre la corrosion utilisés pour les produits Hilti

Solution de protection Hilti contre la corrosion de l'acier au carbone	Epaisseur du revêtement	Exemples de produits
Phosphatage		Vis
Electrozingage	De 5 à 20 µm	Clous, chevilles, vis
Galvanisation à chaud	De 35 à 100 µm	Système de supportage
Galvanisation à chaud en continu / Galvanisation Sendzimir	De 20 à 40 µm	Goujons d'ancrage, Système de supportage
Shérardisation / Diffusion thermique	Jusqu'à 45 µm	Chevilles
Multicouche (Couche de Zn et couche organique par peinture)		Chevilles et pièces de montage

3.1. Corrosion et protection contre la corrosion de l'acier au carbone

L'acier non allié (par exemple acier doux ou acier au carbone) à partir duquel la majorité de nos fixations et nos systèmes de supportage sont fabriqués nécessite une protection contre la corrosion. Le taux de corrosion de l'acier au carbone (typiquement autour de 20 µm/a dans une atmosphère extérieure rurale et montant à plus de 100 µm/a dans les environnements côtiers) est généralement trop élevé pour permettre une utilisation sécuritaire sans protection contre la corrosion.
La conception des produits ne peut pas prendre en compte un si haut taux de perte de matière. Hilti propose donc une large gamme de solutions de protection contre la corrosion appropriée pour les produits en acier au carbone.

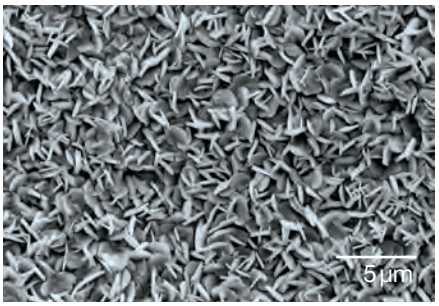


Fig. 28: Cristaux de phosphate sur la surface d'un acier (grossissement x3000) au microscope électronique à balayage.

Dans un environnement alcalin, cependant, le fer et l'acier restent généralement stables. Cela explique pourquoi, par exemple, des barres d'armature en acier au carbone sont déjà très bien protégées contre la corrosion dans l'environnement alcalin du béton autour.

Phosphatage

Description	L'acier est plongé dans une solution acide contenant des sels de phosphate métallique (Zn, Fe). La solution réagit avec la surface de l'acier formant une couche microcristalline de phosphates à la surface (voir Fig. 27). Il en résulte une surface rugueuse avec d'excellentes propriétés de rétention d'huile.
Comportement à la corrosion et informations complémentaires	L'huile appliquée pour la protection anticorrosion reste sur la surface et fournit une protection pendant le transport et augmente légèrement la protection générale contre la corrosion. Ces produits peuvent être utilisés uniquement dans des environnements intérieurs secs. Hilti utilise le phosphatage sur les vis pour plaques de plâtre.

Revêtements de zinc

Le zinc est un excellent choix pour la protection contre la corrosion de l'acier au carbone. Plusieurs procédés appropriés sont disponibles pour l'application de couches de zinc sur les parties en acier depuis de petites vis jusqu'à des rails de supportage de plusieurs mètres de longueur. Le taux de corrosion du zinc est plus de dix fois inférieur à celle de l'acier, à environ 0,5 µm/a dans des atmosphères rurales / urbaines et montant jusqu'à environ 5 µm/a dans les environnements côtiers. La figure 28 donne un aperçu des durées de vie en service d'un acier revêtu de zinc dans différentes conditions.

Les taux de corrosion faibles sont le résultat de la formation de couches stables de produits de corrosion contenant des carbonates (à partir du CO2 de l'air) et de chlorures (si présents dans l'atmosphère). Des conditions dans lesquelles la formation de tels produits de corrosion insolubles n'est pas possible donneront des taux beaucoup plus élevés de corrosion et donc limiteront par conséquence la pertinence du zinc comme couche protectrice.

Ceux-ci comprennent des conditions d'humidité permanente ou des concentrations élevées de polluants industriels tels que le dioxyde de souffre. Dans ces environnements, les produits de corrosion solubles se forment et ils peuvent être éliminés par lavage ou par la pluie. En plus d'une diminution des taux de corrosion, le zinc fournit également une protection cathodique ou sacrificielle de l'acier sous-jacent. Lorsque des rayures, des écailles ou de tout autre dommage au revêtement en zinc met à nu l'acier, une forme particulière de corrosion galvanique (voir paragraphe 1.2.7). Le zinc, qui est un métal moins noble que l'acier, se corrode préférentiellement, gardant ainsi la surface exposée de l'acier protégée.
Des couches de zinc sont consommées de façon homogène au cours de la corrosion atmosphérique. En conséquence, dans une application donnée, multiplier par deux l'épaisseur du revêtement double également le temps jusqu'à l'apparition de rouille rouge sur le substrat d'acier.
Le zinc n'est pas stable en milieu alcalin et il est facilement attaqué dans des solutions avec un pH de 10 ou supérieur. Les fixations zinguées ne devraient donc pas être placées dans du béton frais (moins de 28 jours) parce que cela va attaquer le revêtement de zinc en particulier dans la zone de transition à l'atmosphère. De même, sur chantier, le contact entre les produits revêtus de zinc et des matériaux de construction, par exemple, ciment ou en béton, doivent être évités.

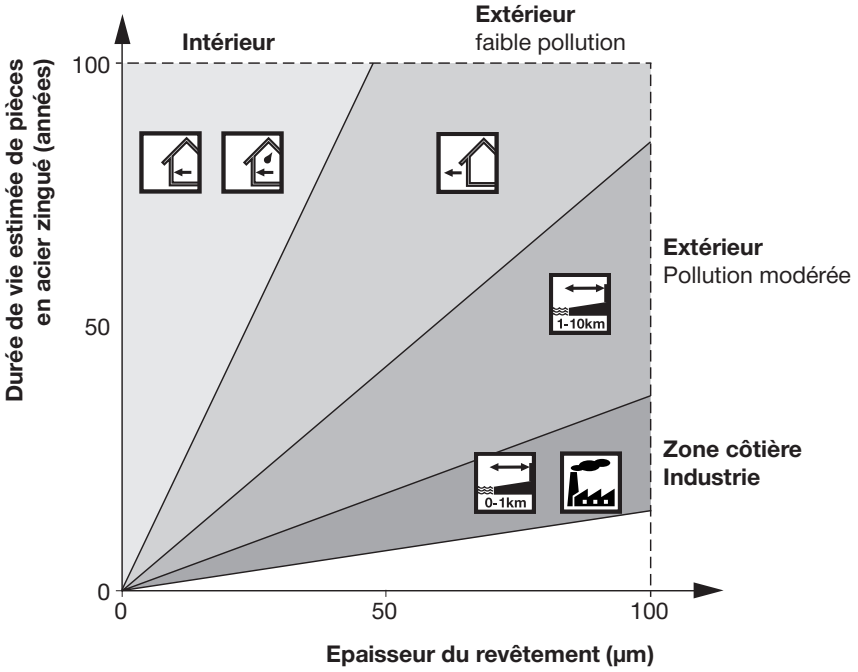


Fig. 29: Durée de vie de l'acier dans différents environnements

Electro-zingage	
Description	Un courant électrique est passé au travers d'une solution aqueuse contenant des ions de zinc, ce qui conduit au dépôt du métal de zinc sur le substrat d'acier. Avant cette étape, les pièces subissent généralement un procédé de nettoyage et de décapage et de passivation après le dépôt de zinc. C'est un excellent moyen de protéger les petites pièces filetées en raison de la formation de revêtements homogènes et denses.
Epaisseur du revêtement	Les spécifications variant habituellement de 5 à 15 µm.

Comportement à la corrosion et informations complémentaires	En raison des limitations de l'épaisseur des couches réalisables, des pièces électro-zinguées sans autre protection contre la corrosion ne doivent être utilisées que dans des conditions intérieures sèches. En utilisant l'électroplacage, il est également possible de déposer des alliages de zinc, tels que des revêtements ZnNi. L'électro-zingage peut également conduire à l'absorption de l'hydrogène. Les fixations à haute résistance Hilti tels que des clous pour la fixation directe sont donc cuites après galvanisation (conservés à des températures d'environ 180 ° C pendant 24 h) pour éliminer l'hydrogène et ainsi garantir un produit fiable.
Galvanisation à chaud	
Description	Pendant ce processus, les pièces en acier sont plongées dans un bain de zinc en fusion. De grandes parties avec une longueur de plusieurs mètres peuvent être revêtues en utilisant cette technique. Les petites pièces comme les boulons et les chevilles sont centrifugés après galvanisation à chaud pour éliminer l'excès de zinc sur les filets.
Epaisseur du revêtement	L'épaisseur typique est comprise entre 35 et 100 microns, en fonction de l'épaisseur du matériau et la composition de l'acier. La durée d'immersion est généralement de plusieurs minutes.
Comportement à la corrosion et informations complémentaires	Le zinc fondu réagit avec le substrat en formant une couche d'alliage ZnFe avec une couche plus mince sur le dessus de zinc pur (voir figure 30). Les produits avec une galvanisation à chaud peuvent avoir un aspect brunâtre dû au fer dans la couche de zinc. Cependant, ce n'est pas nécessairement un signe de corrosion du substrat de l'acier (voir Figure 31).
Galvanisation à chaud en continue / galvanisation Sendzimir	
Description	Pendant ce processus, des bobines de tôle sont déroulées continuellement dans un bain de zinc en fusion après que la surface ait été nettoyée et soumise à un traitement thermique de recuit. Le bain de zinc contient de petites quantités d'aluminium. Celui-ci réagit avec la surface de l'acier pour former une couche dite d'inhibition d'une épaisseur de quelques nanomètres, ce qui empêche la phase de formation de ZnFe. La couche est constituée principalement de zinc pur.
Epaisseur du revêtement	L'épaisseur est comprise entre 10 et 70 microns sur les deux côtés et elle est contrôlée en éliminant l'excès de zinc avec un jet d'air.

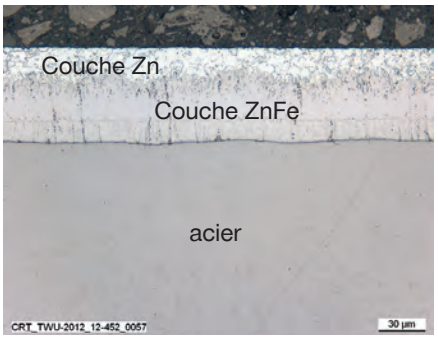


Fig. 30: Micrographie d'un acier galvanisé à chaud

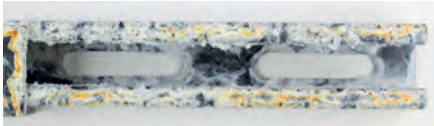


Fig. 31: Coloration brune d'un rail galvanisé à chaud après 200 h à l'essai au brouillard salin. Pas de corrosion de l'acier.

Comportement à la corrosion et informations complémentaires	En dehors du zinc pur, des revêtements en alliage de zinc (comme par exemple ZnAl ou ZnAlMg) peuvent être produits par galvanisation par immersion continue. Les couches sont autour de 2-4% d'aluminium et de magnésium et montrent une augmentation de la protection contre la corrosion, qui est environ deux fois plus élevée que celle d'une couche de zinc avec le même poids de revêtement.
Shérardisation / diffusion thermique	
Description	La shérardisation est un procédé de revêtement de zinc utilisant une méthode de diffusion thermique. Les pièces en acier sont placées dans un tambour contenant de la poudre de zinc et ensuite chauffé à des températures supérieures à 320 ° C. Le zinc n'est pas liquide et forme des couches par diffusion thermique de la poudre de zinc dans les pièces en acier.
Epaisseur du revêtement	L'épaisseur de la couche est réalisable jusqu'à 45 microns.
Comportement à la corrosion et informations complémentaires	Ces revêtements sont principalement constitués d'un alliage de ZnFe qui offre une très bonne protection contre la corrosion, et qui peut être comparé à la galvanisation à chaud. Même sur les pièces avec un filetage complexe, ce processus produit des couches solides et uniformes.

Revêtement multicouches

Lorsque la protection contre la corrosion fournie par la couche métallique est insuffisante, les pièces peuvent être protégés par des revêtements supplémentaires, principalement de la peinture organique avec ou sans paillettes métalliques.

Un exemple est le revêtement multicouche sur des fixations constituées d'un revêtement d'alliage de Zn électrolytique avec une couche de finition organique supplémentaire (voir Figure 32).

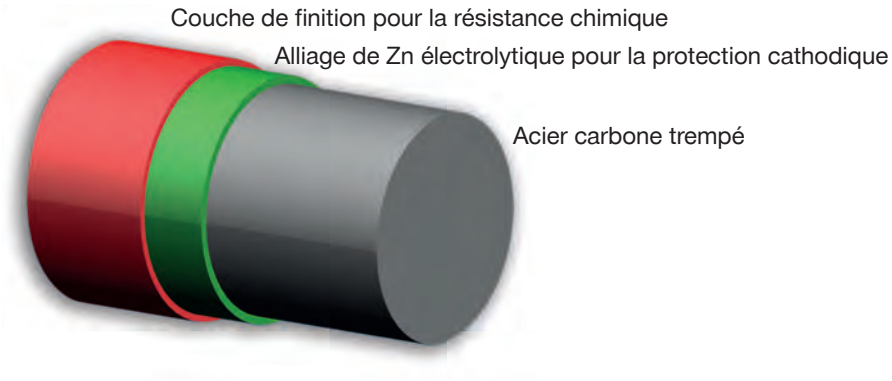


Fig. 32: Revêtement multicouche sur des fixations et connecteurs

3.2. Comportement à la corrosion de l'acier inoxydable

L'acier allié avec au moins de 10% de chrome est appelé acier inoxydable. L'ajout de chrome provoque la formation d'une très mince (quelques nanomètres) couche d'oxyde (couche de passivation) stable, sur la surface. L'acier inoxydable ne corrode donc pas aussi facilement que l'acier carbone et il ne tache pas lorsqu'il est en contact avec de l'eau.
Cependant, dans certaines circonstances, la couche de passivation peut se décomposer causant une attaque locale telle que la corrosion par piqûres (voir 1.2.2). La corrosion par piqûres, est la forme prédominante de corrosion de l'acier inoxydable, et elle ne permet pas de prédire la durée de vie comme cela est possible avec des revêtements de zinc. En général, pour une application donnée, une catégorie d'acier inoxydable stable, sans signe de corrosion doit être choisie.

La résistance des aciers inoxydables contre la corrosion par piqûres peut être de manière approximative évaluée par le PREN (Equivalent de Résistance / pitting resistance equivalent number). Le PREN est basé sur la composition chimique de l'acier, en tenant compte de la quantité de chrome, de molybdène et d'azote. Différentes équations sont données dans la littérature pour ce calcul.
Les équations les plus courantes sont :

PREN = %Cr + 3.3 x %Mo
(Pour des aciers inoxydables à teneur en Mo inférieure à 3%)

PREN = %Cr + 3.3 x %Mo + 30 x %N
(Pour des aciers inoxydables à teneur en Mo supérieure ou égale à 3%)

Une autre forme sévère de corrosion pour l'acier inoxydable est la fissuration par corrosion sous contrainte.

L'acier inoxydable austénitique peut être enclin à cette forme de corrosion dans des environnements spécifiques très agressifs, comme dans les piscines intérieures. Dans de tels cas, des nuances d'acier inoxydable à haute résistance à la corrosion doivent être utilisées, par exemple des nuances avec teneur en molybdène supérieure à 6%.

Plus d'informations sur la sélection des nuances d'acier inoxydable en section 4.

Classes d'acier inoxydable

Il existe différentes qualités d'acier inoxydable avec différents niveaux de stabilité. La nuance la plus courante est un alliage avec environ 18% de Cr et 10% de Ni (voir figure 32). L'augmentation ou la réduction de la quantité d'éléments spécifiques dans l'acier modifie ses propriétés de résistance à la corrosion, ses propriétés mécaniques ou autres propriétés de traitement telles que la soudabilité. Si la teneur en nickel est réduite de manière significative, on ne parlera plus d'alliage purement austénitique, mais de phases austénitiques et ferritiques combinées (acier inoxydable duplex).

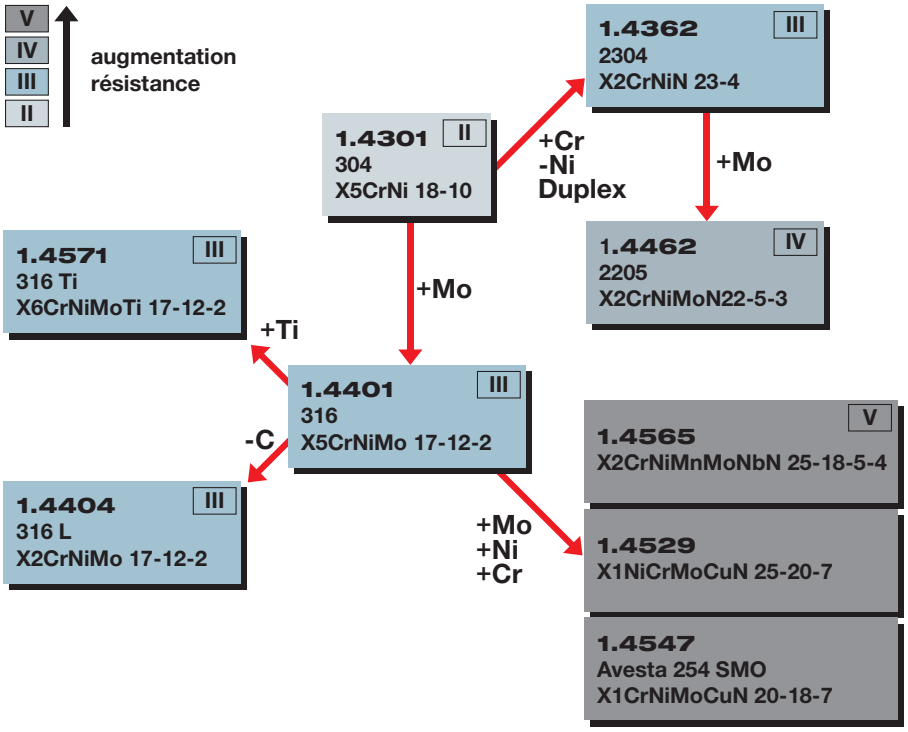


Fig. 33: Classification des nuances d'acier inoxydable les plus courantes.

Désignation des aciers inoxydables

la figure 33 montre les trois formes les plus courantes des désignations des nuances d'acier inoxydable:

Numéros des matériaux

Description

Le système de numérotation des matériaux, conforme à la norme EN 10088-1: 2014 est utilisée dans plusieurs pays. Chaque numéro comporte 5 chiffres, tel que 1. 4404

Le premier chiffre 1 signifie acier, le second et le troisième chiffre 44 signifie aciers avec résistance chimique avec du molybdène Mo, et sans Nb ou TI.
En plus de la désignation 44, les désignations suivantes existes pour l'acier inoxydable :

"41" = avec Mo, sans Nb et Ti, Ni < 2.5 %

"43" = sans Mo, Nb et Ti, Ni ≥ 2,5 %

"44" = avec Mo, sans Nb et Ti, Ni ≥ 2,5 %

"45" = avec éléments supplémentaires

Les deux derniers chiffres 04 désignent l'alliage exact.

Désignation AISI (par exemple 316)

Description

Le système de désignation de l'Institut américain du Fer et des Aciers (American Iron and Steel Institute (AISI)) est utilisé dans le monde entier. Il se compose d'un numéro auquel une lettre parmi plusieurs possibilités peut être ajoutée en fonction de la composition.

200 – désigne un acier austénitique contenant du chrome, nickel et u manganèse

300 – désigne un acier austénitique contenant du chrome, du nickel

400 – désigne un acier ferritique et martensitique au chrome

Les lettres supplémentaires (certaines ci-dessous) indiquent :

L = Faible teneur en carbone

Ti = titane

Les nouvelles classes d'acier inoxydable duplex ont une désignation à quatre chiffres (par exemple 2205 pour la nuance 1.4462).

Désignation basée sur des noms courts

Description

X= Acier fortement allié

2= Teneur en carbone 1 / 100%, dans ce cas : C= 0,02%

Cr= Chrome, dans ce cas: 17%

Ni= Nickel, dans ce cas: 12 %

Mo= Molybdène, dans ce cas 2%

La nuance d'acier dans l'exemple donné correspond à la nuance AISI type 316 L et ou DIN n°. 1.4404.

Expressions V2A et V4A – désignations selon EN ISO 3506-1:2009

Description

Les expressions V2A et V4A remontent à plus de 100 ans et ont leur origine dans la désignation des premières productions d'acier inoxydable. Le V signifie «Versuch», qui signifie en allemand "contrôle ou essai", et le A pour "austénite". V2A désigne un alliage Cr / Ni et V4A un alliage de CrNiMo. Ces expressions sont encore utilisées comme synonymes de l'acier inoxydable dans certains pays.

La norme EN ISO 3506-1: 2009 (propriétés mécaniques des fixations, des boulons, des vis et des clous en acier inoxydable résistant à la corrosion) utilise des désignations allant de A1 à A5 pour l'acier inoxydable austénitique. Cette classe est basée sur la composition de l'alliage et ne reflète pas le comportement à la corrosion. Par exemple, la nuance 1.4401 se trouve dans le groupe A4 et la nuance 1.4571 est dans le groupe A5. Cependant, les deux alliages d'acier inoxydable présentent pratiquement la même résistance à la corrosion.

Souvent les expressions A2 et A4 sont utilisées pour parler d'un groupe de nuances d'acier inoxydable avec une certaine résistance à la corrosion. Cependant, ce n'est pas tout à fait exact, puisque des informations spécifiques sur la composition d'alliage et donc aussi des propriétés telles que la soudabilité ne peut pas être déduite de ces expressions.

3.3. Prévention de la corrosion galvanique

La corrosion galvanique (décrite au paragraphe 1.2.7) peut être évitée par le bon choix de combinaisons de matériaux. Cependant, ceci n'est pas toujours possible et parfois d'autres mesures doivent être prises en considération. Un exemple est la séparation galvanique des différents matériaux, comme le montre la Figure 34.

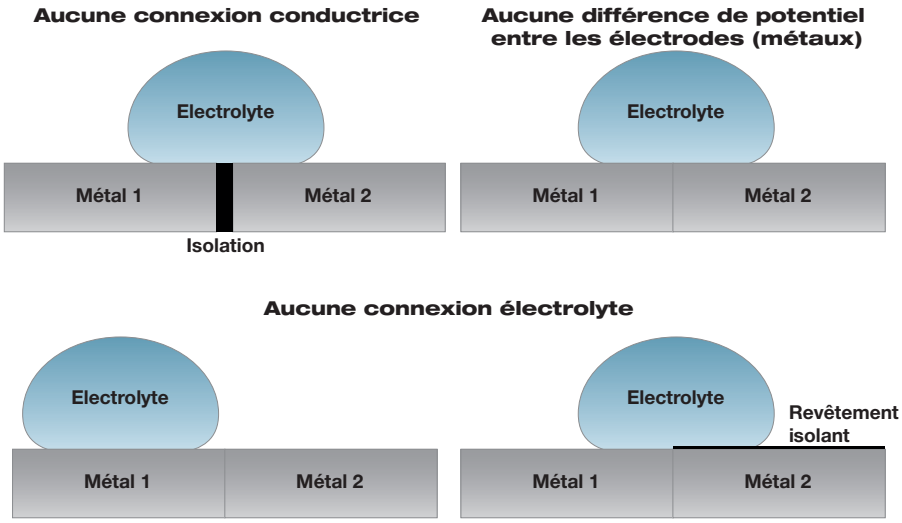


Fig. 34: Conditions pour les combinaisons métalliques sans risque de corrosion galvanique

Pour éviter la corrosion galvanique, la différence de potentiel libre de corrosion entre les matériaux doit être aussi faible que possible, et / ou le ratio de surface du métal le moins noble doit être très élevée. Le potentiel libre de corrosion dépend du potentiel standard, une valeur thermodynamique doit être donnée pour chaque métal et l'environnement corrosif.
La Figure 35 montre le potentiel libre de corrosion des divers matériaux lorsqu'ils sont immergés dans de l'eau de mer. Plus le potentiel est haut, plus le métal est noble. Le contact avec un métal avec potentiel inférieur conduit à la corrosion galvanique de celui-ci.

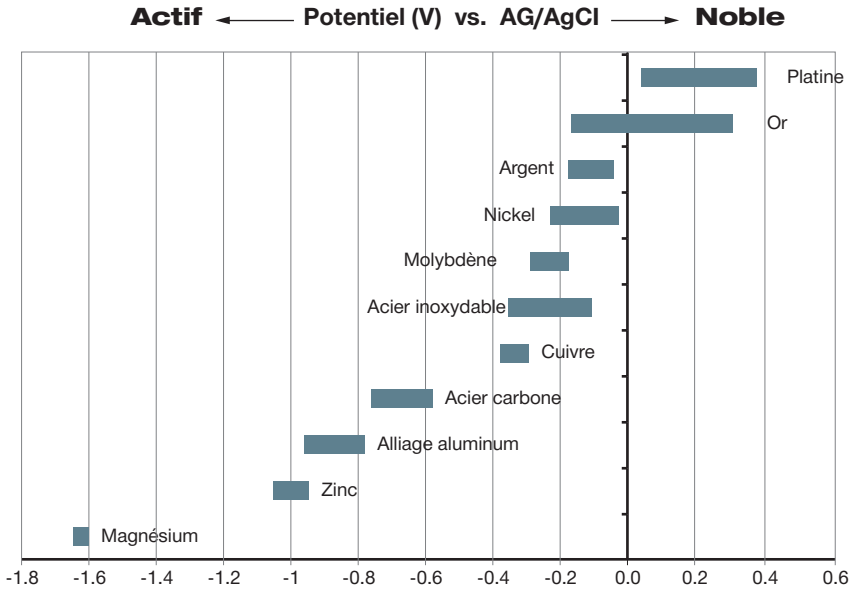


Fig. 35: Potentiel de corrosion de divers métaux dans de l'eau de mer.

En règle générale, une fixation doit toujours être faite du même métal que la pièce à fixer ou doit être en métal plus noble que cette dernière.

Le tableau 2 montre l'effet de la corrosion galvanique dans des **conditions atmosphériques extérieures** pour différentes combinaisons de matériaux.

Tableau 2: Incidence sur la durée de vie des fixations par corrosion galvanique

	Fixation (petite surface)			
Pièce à fixer (Grande surface)	Electro-zingué	Acier Duplex	Galvanisé à chaud	Acier inoxydable
Electro-zingué	□	□	□	□
Galvanisé à chaud	□	□	□	□
Aluminium	▪	▪	▪	□
Fonte	■	■	■	□
Acier inoxydable (CrNi ou CrNiMo)	■	■	■	□
Etain	■	■	■	□
Cuivre	■	■	■	□
Laiton	■	■	■	□

□ Pas d'impact sur la durée de vie
▪ Impact modéré sur la durée de vie, techniquement acceptable dans de nombreux cas
■ Fort impact sur la durée de vie

Dans les **applications intérieures sèches**, la corrosion par contact peut être négligée et habituellement il n'y a pas de combinaisons de matériaux sensibles. Dans la plupart des applications intérieures ou extérieures avec des combinaisons de matériaux on doit toujours tenir compte de directives générales et des limites pour certains matériaux.
Par exemple, le taux de corrosion galvanique de zinc en contact avec de l'aluminium est généralement très faible. Cependant, l'épaisseur de la couche zinc galvanisé sur les fixations est généralement inadaptée pour une utilisation en extérieure fiable avec une durée de vie importante.

Dans les tableaux de sélection indiqués au chapitre 5, la corrosion galvanique est prise en compte en fournissant plusieurs rangées de différentes de pièce à fixer (divisés en "acier", "aluminium" et "acier inoxydable").

4. Comment évaluer la corrosion dans un environnement/application spécifique

La section suivante décrit les façons d'évaluer la corrosivité de certains environnements. Les paramètres influant sur la corrosion ne peuvent être vérifiés que par des spécialistes travaillant localement sur un projet spécifique. En conséquence, la décision finale concernant le choix du matériel et les produits choisie est sous la responsabilité de l'utilisateur et / ou du prescripteur. Les ingénieurs Hilti peuvent vous fournir les informations de base nécessaires sur nos produits. Toutefois, il est impossible pour les ingénieurs Hilti d'effectuer une vérification exhaustive de la corrosivité attendue sur l'application prévue.

4.1. Facteurs influant sur la corrosion atmosphérique

Dans des circonstances spécifiques, la corrosivité et, respectivement, les taux de corrosion des produits en zinc et en acier peuvent être évalués lorsque tous les paramètres atmosphériques typiques sont connus pour une application donnée (voir figure 36).

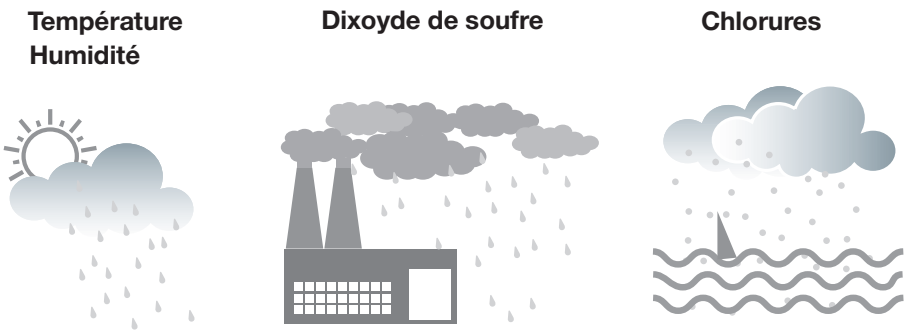


Fig. 36: Facteurs influençant la corrosion atmosphérique

Les variables importantes pour la corrosion atmosphérique sont :

Températures	
Influence générale	Une augmentation de la température entraîne une augmentation de la vitesse de réaction chimique et donc également une augmentation de la vitesse de corrosion. Cela est particulièrement vrai à des niveaux d'humidités relatives constantes.
Informations complémentaires	D'autre part, lorsque la température augmente cela facilite le séchage de surfaces humides et peut ralentir la vitesse de corrosion. A des températures inférieures au point de congélation, la corrosion est négligeable. L'influence de la température sur la corrosion peut donc aller dans les deux sens.
Exemples	Pour des environnements similaires, tels que les régions maritimes, qui montrent généralement des niveaux d'humidité élevés, une augmentation de la température moyenne accélère également la vitesse de corrosion. En conséquence, les zones côtières et off-shore dans les climats tropicaux montrent une corrosivité beaucoup plus élevé que les zones similaires dans les régions froides
Humidité	
Influence générale	La corrosion atmosphérique n'a lieu que lorsqu'un mince film d'humidité est présent sur la surface métallique. En l'absence d'humidité, la plupart des contaminants aurait peu ou pas d'effet corrosif. La période dans laquelle un film d'humidité est présent est aussi appelée durée d'humidité. En règle générale selon la norme ISO 9223:1998, le temps d'humidité est défini comme les périodes où l'humidité relative dépasse 80%. C'est seulement une estimation approximative puisque la formation d'un film d'humidité sur la surface dépend aussi de la présence de sels hygroscopiques (par exemple des produits de corrosion ou de dépôts de sel). La condensation dans les environnements maritimes avec des chlorures aura donc lieu à des niveaux inférieurs d'humidité relative. Le calcul des taux de corrosion selon la dernière version de la norme ISO 9223: 2012 ne prend en compte que l'humidité relative moyenne mesurée en un an (voir 5.2).
Informations complémentaires	L'eau sous forme de pluie n'augmente pas toujours la corrosivité. Elle peut même avoir un effet bénéfique en lavant les chlorures et les polluants. Cependant, dans des environnements généralement secs et légèrement corrosifs, l'eau de pluie peut fournir l'humidité nécessaire pour déclencher une réaction de corrosion.
Exemples	Dans des atmosphères rurales / urbaines, les parties abritées présentent généralement moins de corrosion que celles exposées à la pluie. D'autre part, l'absence de l'effet de lavage de la pluie dans les zones côtières conduit souvent à une corrosion plus importante.

Chlorures	
Influence générale	Une atmosphère saline augmente nettement le taux de corrosion. Les chlorures ont de multiples effets néfastes sur la corrosion des métaux. En particulier sur: • Diminution de l'humidité de saturation : la présence de sels facilite la condensation à des valeurs d'humidité relative inférieures. Cela conduit à des périodes plus longues avec des surfaces métalliques humides. • Formation des produits de corrosion solubles: les ions métalliques dissous forment des chlorures de métaux qui, généralement, ne fournissent pas une protection suffisante contre la corrosion. • Destruction des films passifs: les chlorures attaquent les films d'oxyde formé sur métaux passifs tels que l'acier inoxydable et l'aluminium
Informations complémentaires	Le comportement à la corrosion de certains métaux dans des atmosphères contenant du chlorure dépend fortement de sa capacité à former des produits de corrosion insolubles et stables, avec la présence de chlorures. Par exemple, c'est le cas du zinc, ce qui explique le taux de corrosion beaucoup plus faible de zinc par rapport à l'acier.
Exemples	Dans des atmosphères maritimes la principale source de chlorures est l'eau de mer. Elle contient essentiellement du chlorure de sodium (plus de 90% du sel), accompagné de chlorures de calcium et de magnésium. La principale source de chlorures anthropiques est l'utilisation de sels de déneigement sur les routes en hiver.
Dioxyde de soufre	
Influence générale	De tous les contaminants atmosphériques provenant de procédés industriels tels que la combustion de carburant et la fonte des métaux, le dioxyde de soufre est le plus important en termes de concentration et de son effet sur les taux de corrosion. Le dioxyde de soufre gazeux dans l'atmosphère acidifie l'électrolyte sur la surface et conduit à la formation de produits de corrosion solubles. Les taux de corrosion sont donc augmentés sur de nombreux métaux, par exemple, le zinc, l'acier, l'aluminium et l'acier inoxydable
Informations complémentaires	Les émissions de dioxyde de soufre sont sur le déclin dans de nombreuses parties du monde industrialisé et ont atteint des niveaux insignifiants dans de nombreuses zones urbaines et industriels (inférieurs à 10µg/m^3 voire même moins). Cependant, des points chauds fortement pollués dans le monde existent encore, où on doit considérer une augmentation de la corrosion en raison du SO_2 lorsqu'il s'agit de la sélection des matériaux.

Exemples	La norme ISO 9223: 2012 classe des atmosphères avec des concentrations de SO_2 de plus de 50µg/m³ (moyenne annuelle) en environnement fortement contaminés.

4.2. Évaluation de la corrosivité pour les produits revêtus de zinc

La section suivante décrit le moyen d'évaluer et d'estimer la corrosion attendue dans un environnement donné pour des produits revêtus de zinc. Il doit être noté que cela ne concerne que la corrosion atmosphérique pure où le produit est entièrement exposé aux intempéries. Les applications où le produit est en contact avec le sol, immergé dans l'eau de mer ou installé dans une zone avec un risque d'éclaboussure sont exclus, de même que tous les effets supplémentaires résultant de la corrosion galvanique, l'érosion ou l'exposition à des substances chimiques.
L'estimation de la corrosivité peut être effectuée de deux manières différentes selon la norme ISO 9223: 2012 (voir figure 37).

1. Estimation de la corrosivité en utilisant la classification de la norme ISO 9223: 1998 ou la fonction de la réponse donnée, dans la nouvelle version de cette norme ISO 9224: 2012
2. En effectuant des tests d'exposition d'un an de la matière/produit, et en mesurant la vitesse de corrosion.

Pour la plupart des projets, il est impossible de procéder à des tests d'exposition d'un an et par conséquent l'estimation devient l'approche la plus fréquemment utilisée. Pour la méthode d'estimation, les principaux paramètres climatiques et environnementaux décrits précédemment sont nécessaires. Ceux-ci sont : la température moyenne, l'humidité relative moyenne, le dépôt de chlorure et la concentration de SO_2.

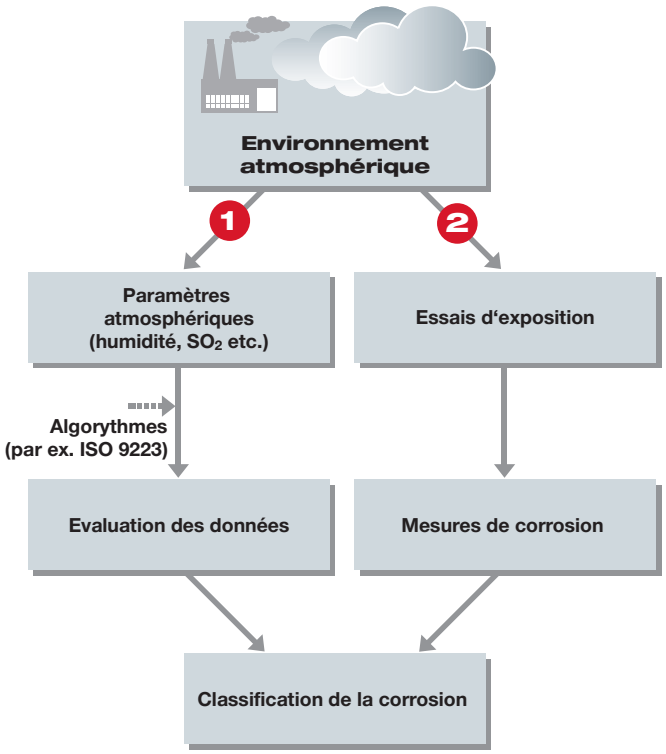


Fig. 37: Méthodes d'évaluation de la corrosivité atmosphérique

Le résultat de cette approche est une estimation du taux de corrosion du zinc ou de l'acier dans un environnement donné. Les taux de corrosion résultant définissent la catégorie de corrosivité répandue (classe C, voir tableau 3).

Comme indiqué dans la norme, l'écart possible en utilisant des données environnementales et la fonction de la réponse donnée peut être jusqu'à 50%. Il faut noter que les résultats sont uniquement valables que pour les conditions microclimatiques et avec une exposition totale (non abritées).

En plus, les facteurs tels que l'accumulation de substances corrosives ou la corrosion galvanique ne sont pas prises en compte dans cette approche. Néanmoins, les résultats de ce calcul sont généralement assez précis pour permettre la sélection du bon matériel. La corrosion est un processus naturel influencé par différents facteurs environnementaux qui ne peuvent être prévus pour toute la durée de vie prévue. Nous conseillons toujours une approche conservatrice et prudente lorsqu'il s'agit d'utiliser des fixations ou des systèmes de supportage.

Tableau 3: Catégories de corrosivité et description des environnements types selon norme ISO 9223.

Catégorie de corrosivité C	Niveau de Corrosion	Types d'environnements	
		Intérieur	Extérieur
C1	Très faible	Espaces chauffés avec faible humidité relative et pollution insignifiante, par exemple bureaux, écoles, musées.	Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique avec une très faible pollution et une durée d'humidité faible, par exemple certains déserts, Arctique / Antarctique centrale.
C2	Faible	Espaces non chauffés avec température et humidité variable. Basse fréquence de la condensation et faible pollution, par exemple stockage, salles de sport.	Zone tempérée, environnement atmosphérique, avec une faible pollution (SO_2 <5 µg/m³), par exemple, les zones rurales, les petites villes. Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique, avec une faible durée d'humidité, par exemple déserts, zone subarctique.
C3	Moyen	Espaces de production avec une fréquence modérée de la condensation et pollution modérée, par exemple usine agro-alimentaire, blanchisseries, brasseries, laiteries.	Zone tempérée, environnement atmosphérique de pollution moyenne (SO_2: 5 µg/m³ à 30 µg/m³) ou avec effet de chlorures, par exemple zones urbaines, zones côtières à faible dépôt de chlorures. Zone subtropicale et tropicale, atmosphère avec faible pollution.
C4	Elevé	Espaces avec fréquence élevée de condensation et pollution élevée par exemple usines de transformation industrielles, piscines.	Zone tempérée, environnement atmosphérique, avec forte pollution (SO_2: 30 µg/m³ à 90 µg/m³) ou avec un effet substantiel de chlorures, par exemple zones urbaines polluées, zones industrielles, zones côtières, sans pulvérisation d'eau salée, ou zone avec une exposition au déneigement fréquent. Zone subtropicale et tropicale, avec atmosphère moyennement polluée.
C5	Très élevé	Espaces avec une fréquence très élevée de condensation et / ou avec forte pollution, par exemple mines, souterrains à des fins industrielles, des hangars non ventilés dans les zones tropicales et subtropicales	Zone tempérée et subtropicale, environnement atmosphérique avec très forte pollution (SO_2: 90 µg/m³ à 250 µg/m³) et / ou avec un effet significatif de chlorures, par exemple, zones industrielles, zones côtières, les positions abritées sur le littoral
CX	Extrême	Espaces avec des périodes de condensation quasi permanentes ou une exposition avec une humidité extrêmes et / ou avec une forte pollution, par exemple hangars non ventilés dans les zones tropicales humides avec pénétration de la pollution extérieure, incluant les chlorures aéroportés et des particules de corrosion stimulante.	Zone subtropicale et tropicale (temps d'exposition très élevé à l'humidité), environnement atmosphérique avec une pollution de SO_2 très élevée (supérieure à 250 µg/m³) incluant les facteurs de production et / ou fort effet de chlorures, par exemple zones industrielles extrêmes, zones côtières et offshore, contacts occasionnels avec brouillard salin.

Ce tableau donne une description verbale des environnements possibles par rapport à la classe de corrosion. Même si il peut être utilisée pour estimer la classe de corrosion en fonction d'une application, on doit garder à l'esprit que suivre strictement la norme signifie que la classe de corrosion doit être déterminée par la mesure de la vitesse de corrosion ou des paramètres environnementaux les plus importants.

Les taux de corrosion de l'acier, le zinc, l'aluminium et le cuivre par rapport aux classes de corrosivité sont donnés dans la norme ISO 9223.

4.3. Évaluation de la corrosivité pour les produits en acier inoxydable

A proprement parler, les catégories de corrosivité (Classes-C) selon la norme ISO 9223 sont applicables seulement au zinc, à l'acier au carbone, à l'aluminium et au cuivre. Le mécanisme de corrosion de l'acier inoxydable est différent, il est donc nécessaire de travailler avec un système de classification différent de celui utilisé pour le zinc. L'acier inoxydable est généralement stable contre l'humidité et l'eau en l'absence de contaminants corrosifs. La répartition de la couche passive par des substances comme les chlorures doit cependant être pris spécifiquement en compte en limitant l'utilisation de certaines catégories d'acier inoxydable.

A l'opposé du zinc, l'influence de l'humidité sans autres contaminants est négligeable pour la corrosion des aciers inoxydables. Pour les aciers inoxydables, il est plus important de considérer que les chlorures et la pluie permettent de nettoyer les produits et substances de corrosion. Dans de nombreuses applications l'effet de lavage renduit fortement la classe de l'acier inoxydable. Pour les applications comme les toits et les façades des bâtiments, cela peut être une option. Cependant, dans les applications typiques où des fixations et des systèmes de supportage sont utilisés, il peut toujours y avoir des zones à l'abri de la pluie.

Les codes et normes internationaux (Eurocode 3) et nationaux (DIBt Z.30.3-6) fonctionnent avec un système de notation particulier pour évaluer la pertinence de certaines catégories d'acier inoxydable.
Ce système prend en compte les risques présentés par les principaux facteurs d'influence, pour lequel un facteur de risque de corrosion (CRF) est lié. Chaque facteur de risque (chlorure, dioxyde de soufre, effet de nettoyage) est lié à un certain nombre de points:
CRF = F1 + F2 + F3
où

- F1 = risque d'exposition à des chlorures de l'eau salée ou de sels de déneigement (plage de catégories de +1 à -15, principalement déterminé par la distance à la côte ou à la route avec sels de déneigement
- F2 = risque d'exposition au dioxyde de soufre; (plage de catégories de 0 à -15, déterminé par la concentration moyenne en dioxyda de soufre
- F3 = nettoyage ou exposition à un lavage par la pluie.
  (plage de catégorie de +1 à -7)

La somme de tous les facteurs aboutit à un certain nombre de points (le CRF) qui ensuite se rapportent à cinq classes de résistance de la corrosion (voir tableau 4). Ceci est un résumé de la procédure, pour plus de détail se référer aux normes.

Tableau 4: Liste des nuances d'acier inoxydable dans les classes de résistance à la corrosion basé sur les tableaux de l'EN 1993-1-4:2006 (dernier projet 2014)

Classes de résistance à la corrosion (CRC) (lié au CRF)				
I CRF = 1	**II** 0 ≥ CRF > -7	**III** -7 ≥ CRF > -15	**IV** -15 ≥ CRF ≥ -20	**V** CRF < -20
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4578		

Dans la gamme des fixations et de systèmes de supportage Hilti, vous trouverez les nuances les plus stables tels que 1.4301, 1.4404 et 1.4529 (voir tableau 5), couvrant toutes les classes importantes de résistance à la corrosion.

Tableau 5: Exemples d'aciers inoxydables utilisés dans les produits Hilti

Nuance d'acier	Classe de résistance à la corrosion	Produits
1.4301 (A2, 304)	II	Vis, Chevilles, Systèmes de supportage
1.4401 (A2, 316)	III	Vis, chevilles, Systèmes de supportage, Fixation par cloueurs à poudre ou à gaz.
1.4404 (A4, 316L)	III	Vis, Chevilles, Systèmes de supportage, Fixation par cloueurs à poudre ou à gaz.
1.4571 (A5, 316Ti)	III	Systèmes de supportage
1.4362 (duplex, 2304)	III	Fixation par cloueurs à poudre ou à gaz.
1.4462 (duplex, 2205)	IV	Fixation par cloueurs à poudre ou à gaz.
1.4529 (HCR)	V	Chevilles

Pour obtenir des informations plus détaillées sur les classes d'acier inoxydable utilisés dans nos produits, vous pouvez vous référer à nos catalogues produits ou visitez www.hilti.fr.

5. Comment sélectionner un système de fixation ou de supportage approprié

Informations sur les tableaux de sélection

Hilti propose un large choix des fixations et des systèmes de supportage avec des matériaux appropriés et économiques. Cependant, les différents comportements et la complexité des facteurs qui influent sur la corrosion, ainsi que le nombre important de normes et de directives nationales et internationales applicables au domaine de la corrosion peuvent présenter un défi lorsqu'il s'agit à faire le bon choix des matériaux pour une application donnée.

Dans le but de donner un premier aperçu de la performance des différents produits, nos tableaux montrent la pertinence et également le cas échéant, la durée de vie des produits dans certains environnements typiques.
"Des remarques importantes" fournissent des informations et elles doivent toujours être prises en compte lorsque vous utilisez les tableaux:

Notes importantes

La décision finale sur la protection requise contre la corrosion doit être effectuée par le client. Hilti décline toute responsabilité quant à la pertinence d'un produit pour une application spécifique, même si nous sommes informés des conditions d'application. Les tableaux sont basés sur une durée de vie moyenne pour des applications typiques. Pour les revêtements métalliques, par exemple systèmes de couches de zinc, la fin de vie est le moment où la rouille rouge est visible sur une grande partie du produit et qu'une détérioration structurelle généralisée peut se produire - l'apparition initiale de la rouille peut se produire plus tôt.
Les codes nationaux ou internationaux, normes ou réglementations, spécifications client et/ou industrie doivent être considérés et évalués indépendamment. Ces recommandations ne sont applicables qu'en cas de de corrosion atmosphérique. Les autres types de corrosion, tels que la corrosion par fissuration ou par hydrogène doivent être évalués de manière indépendante. Les tableaux publiés dans cette brochure ne forment que des recommandations générales pour les applications dans les environnements atmosphériques les plus fréquents. L'adaptabilité à une application spécifique peut être affectée par les conditions locales, incluant (liste non exhaustive) :

- Températures et humidité élevées
- Niveaux élevés de polluants atmosphériques
- Contact direct avec des produits corrosifs, tels que trouvés dans certains types de bois traité chimiquement, des eaux usées, d'adjuvants pour béton, agents de nettoyage, etc.
- Contact direct avec le sol ou l'eau stagnante
- Contact avec du béton frais (moins de 28 jours)
- Courant électrique
- Contact entre deux métaux différents
- Espaces confinés, par exemple crevasses
- Dommages physiques ou d'usure
- Extrême corrosivité due aux effets combinés de différents facteurs d'influence
- Enrichissement en polluants du produit

Le tableau 6 détails les conditions environnementales données dans les tableaux suivants. Les catégories de corrosion et les classes de résistance à la corrosion sont également répertoriées.

Tableau 6: Conditions environnementales et leur lien avec les catégories de corrosivité et leurs classes de résistance à la corrosion

	Catégories de corrosion selon ISO 9223:2012	**Classe de résistance à la corrosion des aciers inoxydables**
Applications intérieures		
Applications intérieures sèches (zones chauffées ou avec conditionnement d'air) sans condensation, par ex. bureaux, écoles	C1, C2	1
Applications intérieures avec condensation temporaire (zones non chauffées avec polluants), par ex. hangars de stockage	C1, C2	1
Applications extérieures		
Extérieur, environnement rural ou urbain avec faible pollution Distance à la mer > 10 km	C2, C3	2
1-10km **Extérieur, environnement rural ou urbain avec pollution modérée** et/ou atmosphère salée Distance à la mer entre 1 km et 10 km	C2, C3, C4	2, 3
0-1km **Zones côtières** Distance à la mer < 1 km	C3, C4, C5, CX	3, 4
Extérieur, zones avec forte pollution industrielle Concentration atmosphérique en SO_2 > 10 µg/m³ en moyenne annuelle (par ex. près d'une usine polluante)	C4, C5, CX	3, 4
Proche d'une route traitée avec sel de déneigement en hiver, Distance à la route < 10 m	C3, C4, C5	3, 4
Applications spéciales		
Applications spéciales Zones avec conditions corrosives extrêmes, par ex. tunnel routier avec sel de déneigement, piscines intérieures, industrie chimique (des exceptions sont possibles).	Climats spéciaux non couverts par les classes C	4, 5

Tableaux de sélection pour fixations, clous bois et systèmes de supportage

Les fixations comme les chevilles, les clous et les vis sont souvent utilisées pour des points de fixation uniques et pour des installations de sécurité. Les difficultés d'observation des fixations après la pose, l'impossibilité de les réparer ou de les remplacer et l'interaction complexe entre charges appliqués, pièce à fixer et les conditions de friction dans le trou de forage (dans le cas d'une cheville à expansion) impose d'avoir une approche conservatrice afin d'éviter les risques de corrosion des matériaux de fixation. La fin de vie des fixations zinguées, coïncide avec la fin de vie de la protection cathodique de l'acier sous-jacent. Le tableau de sélection des fixations ne précise pas la durée de vie, mais donne une recommandation générale sur leur utilisation basée sur la durée de vie du l'ouvrage selon les codes par exemple 25 ou 50 années – voir les notes de bas de tableau pour plus de détails.
Les fixations font souvent partie de la structure d'un bâtiment, ce qui signifie que la durée de vie de celles-ci doit être égale à la durée de vie prévue du bâtiment. Les structures secondaires telles que les **systèmes de supportage**, ont des durées de vie inférieure à celle de la structure car elles sont soumises à des modifications plus fréquentes.
De plus, de nombreuses applications avec un système de supportage permettent des interventions de réparation ou de prolongement de leur durée de vie, par exemple avec l'application d'une pulvérisation de zinc. Avec une évaluation adéquate de l'environnement corrosif, y compris de la durée de vie prévue et également sur la mise en œuvre d'inspection et de réparation périodiques, des produits en acier au carbone peuvent être utilisés pour une large gamme d'application en toute sécurité et de façon économique.
Dans le cas de systèmes de supportage zingués et de clous bois, la corrosion du substrat en acier ne provoque pas de problèmes immédiats en termes de tenue mécanique. L'apparition de rouille rouge sur la surface est de l'ordre de 5%, et elle est considérée comme l'indicateur de la fin de période de la protection assuré par la couche de zinc. Il est donc possible d'estimer la durée de vie d'un produit pour un environnement spécifique.

Agrément Technique Européen - chevilles métalliques pour béton

Pour les applications extérieures, les Agréments Techniques Européens (ETA) spécifient l'utilisation de fixations en acier inoxydable avec une résistance à la corrosion de classe III ("classe A4"). Les applications spéciales, telles que les tunnels autoroutiers et les piscines intérieures, nécessitent une classe supérieure (classe IV ou V). L'objectif est, bien sûr, de fournir à l'utilisateur des lignes directrices conservatrices pour la sélection correcte du matériau approprié à une application extérieure. Le but ultime des ATE est de ne pas nécessiter une évaluation détaillée de l'environnement et de l'application lorsque l'ATE est strictement respecté (assumant qu'il n'y a pas de corrosion non atmosphérique). Par exemple, l'utilisateur n'a pas à évaluer l'influence des chlorures résultant de la proximité de l'eau de mer ou de l'utilisation de sels de déglaçage sur le chantier.
Cependant, dans les cas où les chlorures peuvent être négligés, il est possible d'aller au-delà des spécifications des ATE. D'un point de vue technique, les fixations galvanisées à chaud ou en acier inoxydable dans la CRC II ("classe A2") sont adaptées à des environnements extérieurs avec certaines restrictions de durée de vie et d'application. Ceci est basé sur une longue expérience de ces matériaux. Il convient néanmoins de noter que ceci demande une évaluation détaillée et une compréhension en profondeur de l'application et son environnement (voir les tableaux ci-dessous).

5.1. Choisir la bonne protection contre la corrosion pour les chevilles, clous et vis

Pour qu'une fixation soit parfaitement satisfaisante et fiable pendant toute sa durée de vie, tous les paramètres influençant doivent être identifés avant de pouvoir choisir la fixation.
Le tableau suivant fournit une recommandation générale pour les applications de fixation les plus fréquentes. La protection contre la corrosion pour chaque fixation est basée sur les catégories environnementales typiques (voir les notes).

Chevilles, clous et vis	Exemple de produits **Chevilles**		HSA, HUS3, HST, HIT-V, HRD	HUS3-HF	HSA-F, HIT-V-F	HSA-R2, HRD-R2	HUS-HR, HSA-R HST-R, HIT-V-R HIT-Z-R, HRD-R	HST-HCR
	Vis	S-DS01, S-DD01	S-MD Z, S-MP Z	S-CD C, S-IT C		S-MD S, S-CD S	S-MD SS, S-CD SS	
	Clous		X-ENP [1], X-U X-GHP, X-GN	X-FCM-M, X-GR			X-BT, X-BT-ER X-CR, X-FCM-R	Sur demande
	Matériau/ revêtement	Acier au carbone avec/sans phosphatage	Electrozingué	Acier au carbone revêtu Duplex	Galvanisé à chaud/shérardisé 45-50 µm	A2 AISI 304	A4 AISI 316	HCR, par ex.1.4529
Catégories environnementales		**Pièce à fixer**						
Intérieures sèches		Acier (électro-zingué, peint), aluminium, acier inoxydable	■	■	■	■	■	■	■
Intérieures avec condensation temporaire		Acier (électro-zingué, peint), aluminium	–	–	■	■	■	■	■
		Acier inoxydable			–	–			
Extérieur avec faible pollution		Acier (électro-zingué, peint), aluminium	–	–	□ [2]	□ [2]	■ [2]	■	■
		Acier inoxydable			–	–			
Extérieur avec pollution modérée (1-10km)		Acier (électro-zingué, peint), aluminium	–	–	□ [2]	□ [2]	■ [2]	■	■
		Acier inoxydable			–	–			
Zones côtières (0-1km)		Acier (électro-zingué, peint), aluminium, acier inoxydable	–	–	–	–	–	■	■
Extérieur avec forte pollution industrielle		Acier (électro-zingué, peint), aluminium, acier inoxydable	–	–	–	–	–	■	■
Proche d'une route		Acier (électro-zingué, peint), aluminium, acier inoxydable	–	–	–	–	–	■	■
Applications spéciales			**Consulter un expert**					■

■ = la durée de vie attendue pour ce matériau est généralement satisfaisante dans l'environnement spécifié en fonction de la durée de vie attendue du bâtiment. La durée de vie prévue dans les Evaluations techniques Européennes est de 50 ans pour les chevilles, 25 ans pour les clous, les vis métal et panneaux sandwich et 10 ans pour les vis isolation.

□ = une diminution de la durée de vie attendue pour les aciers non inoxydables doit être prise en compte (≤ 25 ans). Une durée de vie plus importante nécessite une évaluation particulière.

– = les fixations faites dans ce matériau ne sont pas adaptées à la catégorie environnementale spécifiée. Les exceptions nécessitent une évaluation particulière.

1) Une exposition extérieure jusqu'à 6 mois pendant la phase travaux est autorisée pour les fixations en acier électro-zingué à haute résistance pour bardage et couverture telles que le clou X-ENP (voir instruction de pose pour plus de détails).

2) D'un point de vue technique, les revêtements galvanisé à chaud et duplex ainsi que les matériaux A2/304 sont adaptés à des environnements extérieurs pour une certaine durée de vie avec des restrictions. Ceci est basé sur l'expérience sur le long terme acquise avec ces matériau comme indiqué par exemple dans les taux de corrosion pour le zinc donnés dans la norme ISO 9224:2012 (classe de corrosivité, classes C), dans les tableaux de sélection des aciers inoxydables donnés dans l'homologation allemande DIBt Z.30.3-6 (Avril 2014) ou dans les rapports d'évaluation ICC-ES pour la cheville KB-TZ aux Etats Unis (par ex. ESR-1917, Mai 2013). Néanmoins, l'utilisation de ces matériaux à l'extérieur n'est actuellement pas couverte par les Evaluations techniques Européennes (ETE) des chevilles, il y est précisé que les chevilles en acier au carbone galvanisé à chaud ou en acier inoxydable A2 ne peuvent être utilisées qu'en environnement intérieur sec, en fonction de la durée de vie prévue des chevilles de 50 ans.

Les rails inserts Hilti (HAC) sont en acier galvanisé à chaud selon ISO 1460:2009-10. Les boulons HBC existent en acier electro-zingué, galvanisé à chaud et acier inoxydable A4. Les rails HAC peuvent être utilisés en combinaisons des boulons HBC quel que soit le matériau du boulon en environnement intérieur sec selon l'ATE 11/0006 (28 février 2012). Lorsque le boulon est en acier galvanisé à chaud, ils peuvent également être utilisés en environnement intérieur avec condensation temporaire.

5.2. Choisir la bonne protection contre la corrosion pour les clous bois

Le bois peut être corrosif à cause des acides organiques qu'il contient. En plus des conditions atmosphériques, la corrosion venant du bois lui-même doit être prise en compte lors du choix de la protection à la corrosion des clous bois.

Le tableau suivant fournit une recommandation générale pour les applications de fixation bois sur bois les plus fréquentes dans les catégories environnementales typiques.

Clous bois Hilti GX-WF	**Classe de service** selon EN 1995 (Eurocode 5)	Classe de service 1	Classe de service 2	Classe de service3		
	Matériau/ revêtement	Acier au carbone avec/sans phosphatage	Electro-zingué	Galvanisé à chaud HDG 45-50 µm	A2[1] AISI 304	A4 AISI 316
Catégories environnementales		Durée de vie (en années)				
Intérieures sèches		20 à 50	jusqu'à 50	jusqu'à 100	■	■
Intérieures avec condensation temporaire		–	10 à 50	60 à 100	■	■
Extérieur avec faible pollution		–	5 à 20	40 à 100	■	■
Extérieur avec pollution modérée (1-10km)		–	2 à 10	20 à 40	■	■
Zones côtières (0-1km)		–	moins de 5	10 à 30	–	■
Extérieur avec forte pollution industrielle		–	moins de 5	10 à 30	–	■
Proche d'une route		–	–	–	–	■
Applications spéciales		**Consulter un expert**				

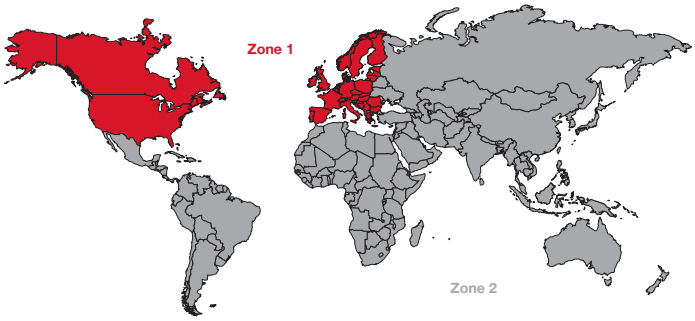
Le tableau ci-dessus fournit des durées de vie estimées typiques basées sur des considérations relatives à la corrosion. D'autres facteurs importants pour la durée de vie des fixations doivent être évalués séparément.

■ = la durée de vie attendue pour les clous faits en ce matériau est généralement satisfaisante pour la catégorie environnementale spécifiée en fonction de la durée de vie attendue du bâtiment.
– = les clous faits dans ce matériau ne sont pas adaptés à la catégorie environnementale ou la durée de vie du bâtiment ne sera pas atteinte.
[1] Pour les clous faits en matériau A2, une décoloration de la tête peut apparaître avant la fin de la durée de vie donnée dans le tableau ci-dessus ne soit atteinte. Pour éviter ceci, utiliser des clous en acier A4.

Certaines espèces de bois, comprenant notamment (liste non exhaustive) le chêne, le sapin Douglas ou le cèdre rouge de l'ouest, nécessitent l'utilisation de clous en acier inoxydable quelle que soit la classe de service ou la catégorie environnementale.
L'utilisation de certains traitements de bois, comprenant notamment (liste non exhaustive) les retardateurs de feu ou conservateurs, peut changer la composition chimique du bois et peuvent nécessiter l'utilisation de clous en acier inoxydable quelle que soit la classe de service ou la catégorie environnementale.

5.3. Choisir le bon système de supportage

La durée de vie des revêtements dépend de la corrosivité de l'atmosphère, qui diffère de manière significative autour du globe. Pour des raisons pratiques, Hilti fait la différence entre deux zones:



La zone 1 comprend les pays où la qualité de l'air et le climat montre une absence d'environnements pollués ou tropicaux. Cette zone comprend les pays Européens et Nord Américains. La zone 2 comprend tous les autres pays, pour lesquels on ne peut pas prouver l'absence de zones polluées (particulièrement dans les zones urbaines) et/ou avec un climat tropical chaud.
La durée de vie typique pour les systèmes de supportage est donnée dans le tableau ci-dessous.

Système de supportage	**Rails**	Systèmes MM, MQ ou MC	Système MQ –F	Système MI	Système MQ A2/AISI 304	Système MQ A4/AISI 316
	Colliers	Colliers intérieurs[1]	Colliers galvanisés à chaud[2]	Colliers MI-UB, MI-PS	Colliers en acier inoxydable [3]	
Catégories environnementales		Durée de vie (en années) pour zone 1 et zone 2				
Intérieures sèches		70 à 100 70 à 100	jusqu'à 100 jusqu'à 100	jusqu'à 100 jusqu'à 100	■	■
intérieures avec condensation temporaire		25 à 70 25 à 70	40 à 100 40 à 100	60 à 100 60 à 100	■	■
Extérieur avec faible pollution		4 à 10 2 à 10	25 à 50 15 à 60	40 à 100 25 à 100	■	■
Extérieur avec pollution modérée (1-10km)		–	20 à 40 10 à 40	25 à 50 20 à 50	■	■
Zones cotières (0-1km)		–	10 à 20 7 à 20	15 à 40 10 à 40	–	■
Extérieur avec forte pollution industrielle		–	10 à 20 5 à 20	15 à 40 10 à 40	–	■
Proche d'une route		–	–	–	–	■
Applications spéciales		**Consulter un expert**				

■ = la durée de vie attendue pour les rails et colliers faits en ce matériau est généralement satisfaisante pour la catégorie environnementale spécifiée en fonction de la durée de vie attendue du bâtiment.

1) Colliers intérieurs: MP-LHI, MP-HI, MPN, MP-MIS, MP-MI, MP-M, MP-MXI, MP-MX, MP-SP
2) Colliers galvanisés à chaud: MP-MI-F, MP-M-F, MP-MXI-F, MP-MX-F
3) Colliers en acier inoxydable: MP-SRN, MP-SRNI, MP-MR, MP-MRI, MP-MRXI

6. Bibliographie

Ressources Internet
Corrosion en général
http://corrosion-doctors.org/

Revêtements de zinc
http://www.feuerverzinken.com/
http://www.galvanizeit.org/
http://www.nordicgalvanizers.com/

Acier inoxydable
http://www.edelstahl-rostfrei.de/
http://www.bssa.org.uk/
http://www.worldstainless.org/
http://www.euro-inox.org/ (information available in many languages)

Normes
EN ISO 8044:1999-08
EN ISO 9223:2012-02
EN ISO 9224:2012-02
EN ISO 9227:2012-05
EN ISO 16701:2008-04
ISO 20340:2009-04
EN ISO 6270-1:2001-08
EN ISO 6988:1994-10
EN ISO 3506-1:2009

Littérature
G. Kreysa M. Schütze, “Corrosion Handbook Volume 6: Atmosphere, Industrial Waste Gases”, Wiley VCH, 2004

P. R. Roberge, “Handbook of Corrosion Engineering”, McGrawHill, 2012

H. Kaesche, “Corrosion of Metals: Physicochemical Principles and Current Problems”, Springer, 2003

X.G. Zhang, “Corrosion and Electrochemistry of Zinc”, Springer, 1996

U. Nürnberger, “Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen”, Bauverlag, 1995

7. Avertissement

Tous les résultats, les considérations et les recommandations données dans cette brochure sont basées sur les essais, les principes et les formules décrits dans cette brochure et sur les exigences de sécurité en conformément aux instructions techniques émises par Hilti. Ils s'appliquent uniquement aux applications comparables avec l'ensemble des essais décrits. Cela est particulièrement vrai pour les exemples donnés sur la sélection des matériaux. L'extrapolation des résultats à d'autres environnements n'est pas possible.
Les exemples, les considérations et les recommandations données dans cette brochure et particulièrement les valeurs limites pour les applications individuelles, doivent être considérées comme des lignes directrices uniquement.
Des écarts significatifs de valeurs peuvent également se produire en fonction des paramètres environnementaux applicable à une structure spécifique. L'évaluation d'une structure donnée, notamment en ce qui concerne les paramètres environnementaux à prendre en compte, est de la responsabilité du bureau d'étude et/ ou du client. Si la décision est prise d'utilisé un matériau qui n'est pas considéré stable à long terme, dans la mesure où les processus décrits ici sont des processus long terme il est vivement recommandé d'analyser régulièrement des échantillons. Cette brochure ne doit être diffusée que dans son intégralité.
Hilti décline toute responsabilité pour toutes applications résultant d'une partie de ce document, pour tout dommage lié à une estimation directe ou pour toute évaluation des conditions environnementale applicable à une structure. De telles évaluations sont exclusivement sous la responsabilité du Bureau d'étude et/ ou du client, les considérations données ici ne servent qu'à mettre en avant certains des aspects sur les fixations. Une attention particulière doit être apportée non seulement au choix du matériau adapté pour une fixation mais également à d'autres points tels que les obligations légales ou aspect opérationnel.

Hilti. Performance. Fiabilité.

Service clients 0 825 01 05 05

Hilti France I 1 rue Jean Mermoz I 78778 Magny-les-Hameaux I Service clients **T** 0 825 01 05 05 I **F** 0825 02 55 55 I **www.hilti.fr**
© 07/2015 I Hilti = marque déposée du Groupe Hilti. Photos et textes non contractuels, sous réserve d'erreur typographique I MKT E2