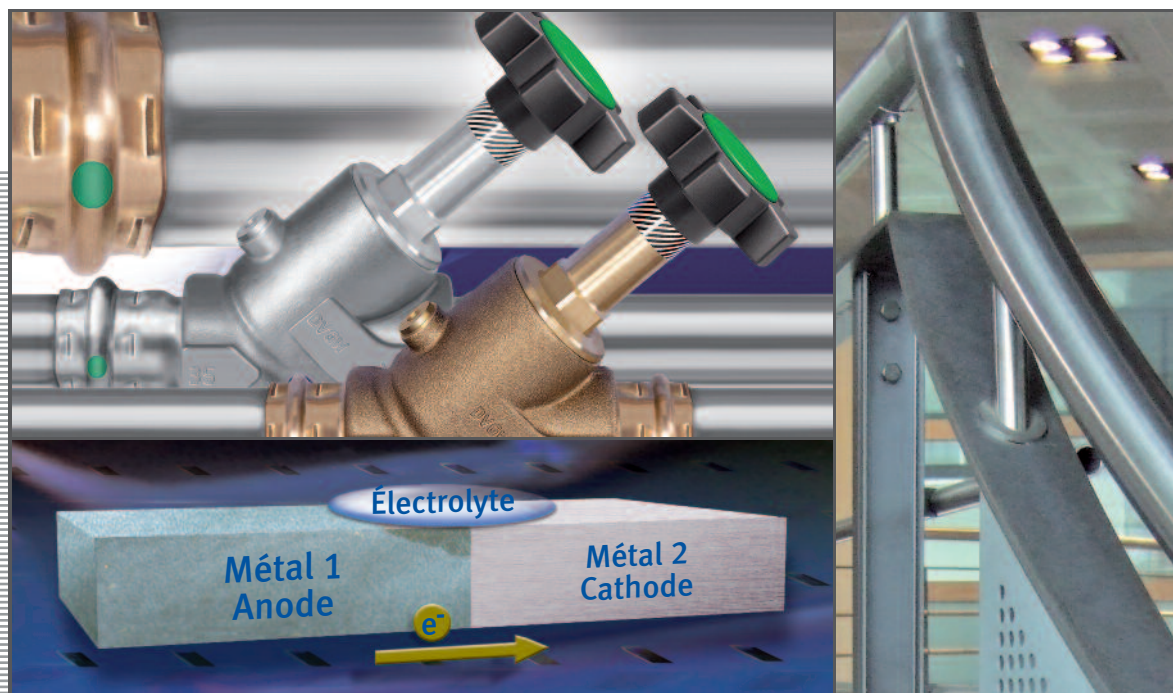


L'inox en contact avec d'autres matériaux métalliques



Euro Inox

Euro Inox est l'association européenne pour le développement de l'acier inoxydable. Ses membres sont:

- les producteurs européens d'acier inoxydable,
- les associations nationales de promotion de l'acier inoxydable,
- les associations de promotion des producteurs d'éléments d'alliage.

L'objectif d'Euro Inox est de promouvoir les utilisations existantes de l'acier inoxydable et de susciter de nouvelles applications en mettant à disposition des concepteurs et des utilisateurs des informations pratiques sur les propriétés des aciers inoxydables ainsi que les éléments nécessaires pour assurer une mise en oeuvre dans les règles de l'art. A cet effet :

- Euro Inox édite des supports imprimés ou électroniques,
- organise des conférences et des séminaires,
- initie et soutient des projets dans les domaines de la recherche appliquée et des études de marché.

ISBN978-2-87997-323-4

978-2-87997-263-3	Version anglaise
978-2-87997-322-7	Version néerlandaise
978-2-87997-324-1	Version tchèque
978-2-87997-325-8	Version finnoise
978-2-87997-326-5	Version suédoise
978-2-87997-327-2	Version turque
978-2-87997-328-9	Version polonaise
978-2-87997-329-6	Version italienne
978-2-87997-330-2	Version espagnole

Membres titulaires

Acerinox

www.acerinox.com

Aperam

www.aperam.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaiterni.com

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Membres associés

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostfrei.de

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOA)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystributorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

www.swissinox.ch

L'inox en contact avec d'autres matériaux métalliques
Matériaux et Applications, Volume 10
© Euro Inox 2011

Traduit et adapté de ARLT, N. / BURKERT, A / ISECKE, B.,
Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen
(Merkblatt 829), Düsseldorf, Informationsstelle Edel-
stahl Rostfrei, 4e édition 2005

Éditeur

Euro Inox
Diamant Building, Bd. A. Reyers 80,
1030 Bruxelles, Belgique
Tél. +32 2 706 82 67, Fax +32 2 706 82 69

Remerciements :

Atomium asbl, Bruxelles (B)
Centro Inox, Milan (I)
Bundesanstalt für Materialprüfung und -forschung,
Berlin (D)
David Cochrane, Sidcup (GB)
Benoît Van Hecke, Hasselt (B)
Outokumpu, Tornio (FIN)
Thomas Pauly, Bruxelles (B)
Christoph Seeberger, Munich (D)
ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld (D)
Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden (D)
Viega GmbH & Co. KG, Attendorn (D)

Limite de responsabilité

Euro Inox a fait de son mieux pour que les informations présentées dans ce document soient techniquement correctes. Cependant, le lecteur est avisé que son contenu n'a qu'un but d'information générale. Euro Inox, ses membres, rejettent expressément toute responsabilité en cas de perte, dommage ou blessure résultant de l'utilisation des informations contenues dans cette publication.

Table des matières

1	Introduction	2
2	Les principes de la corrosion galvanique	3
3	Facteurs essentiels et exemples	5
3.1	Résistance de l'électrolyte	5
3.2	Durée de mouillage et environnements	6
3.3	Cinétique des réactions d'électrode	8
3.4	Zones cathodique et anodique	8
4	Expériences pratiques dans différentes applications	10
4.1	Eau et traitement des eaux usées	11
4.2	Composants en condition atmosphérique	14
4.3	L'inox dans le bâtiment	15
4.4	L'inox dans les transports	18
5	Prévenir la corrosion galvanique	22
6	Bibliographie	23

Droit d'auteur

Cet ouvrage est protégé par le droit d'auteur. Euro Inox détient tous les droits de traduction dans toute langue, de réimpression et de réutilisation des illustrations, citations et radio- et télédiffusion. Il est interdit de reproduire une partie quelconque de cette publication, de la stocker dans un système d'archivage, ou de la transmettre sous une forme quelconque par n'importe quel moyen, électronique, mécanique, photocopie, enregistrement ou autre, sans l'autorisation écrite préalable du propriétaire des droits de reproduction, Euro-Inox, Luxembourg. Les contrevenances peuvent être passibles de poursuites judiciaires et de versement de dommages et intérêts ainsi que des dépens et frais juridiques, et sont passibles de poursuites aux termes de la législation du Luxembourg sur le droit d'auteur et de la réglementation de l'Union européenne.

1 Introduction

Lors de conceptions complexes, il peut être nécessaire d'associer différents matériaux métalliques dans le même assemblage. De même, on observe souvent des associations malheureuses dues uniquement au choix aléatoire de boulons ou de rondelles, par exemple. Dans certaines circonstances, de telles conceptions multi-matériaux peuvent mener à la corrosion d'un des matériaux utilisés. Ce phénomène se traduit par la corrosion galvanique¹, concept où deux métaux différents forment un couple galvanique. La formation de couples galvaniques peut avoir pour résultat la corrosion accélérée du matériau moins noble. Celui-ci peut alors subir une corrosion bien plus rapide que celle attendue sans contact avec le matériau plus noble. Les dommages liés à la corrosion, comme une détérioration inacceptable de l'apparence, des tubes qui fuient, ou la rupture de systèmes de fixation, peuvent réduire de manière significative la durée de vie d'un composant et mener prématurément à

son remplacement. Dans la plupart des applications techniques, l'inox a le potentiel électrochimique le plus élevé des matériaux métalliques en contact ; c'est pourquoi il existe habituellement un risque de corrosion pour le matériau associé.

Le risque de corrosion galvanique dépend cependant de multiples facteurs. En dehors des matériaux employés, l'environnement et la conception ont un rôle crucial. Il est dès lors difficile de porter un jugement a priori sur la compatibilité des matériaux. La présente publication décrit les principes de la corrosion galvanique et les paramètres principaux permettant aux concepteurs d'estimer les risques de corrosion.

¹ Corrosion accélérée d'un métal, causée par l'action d'un élément corrosif. D'autres facteurs incluent la concentration, l'aération et les éléments actifs/passifs.

2 Les principes de la corrosion galvanique

Pour que la corrosion galvanique apparaisse, il faut :

- des métaux de potentiels électrochimiques différents au sein d'un système donné ;
- une connexion conductrice entre les deux métaux ;
- un film d'humidité électriquement conducteur (électrolyte) connectant les deux métaux.

La *Figure 1* illustre schématiquement les trois conditions requises.

Si la corrosion galvanique a lieu, le matériau moins noble – l'anode – est préférentiellement attaqué, alors que le matériau plus noble – la cathode – est lui-même protégé contre la corrosion. En fait, le principe de la protection cathodique consiste à utiliser des anodes sacrificielles offrant une protection contre la corrosion.

La mise en contact de deux métaux ayant des potentiels différents dans une solution conductrice entraîne un transfert d'électrons

de l'anode vers la cathode. Les réactions électrochimiques sont identiques à celles qui auraient lieu naturellement dans les métaux isolés ; cependant l'attaque corrosive de l'anode est fortement accélérée. Dans certains cas, la formation de couples galvaniques peut entraîner la corrosion de matériaux qui, isolément, auraient été résistants à la corrosion dans l'environnement en question. Cela peut être le cas de matériaux passifs tels que l'aluminium, qui peut être polarisé localement dans certains environnements. Dans de tels cas, des phénomènes de corrosion localisée comme la corrosion par crevasses ou par piqûres peuvent être observés, ce qui n'aurait pas été le cas sans la variation de potentiel causée par la formation du couple galvanique.

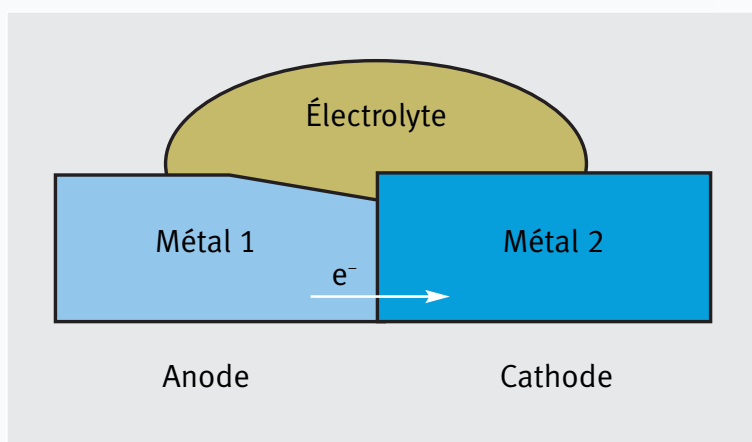


Figure 1 :
Conditions requises à la corrosion galvanique

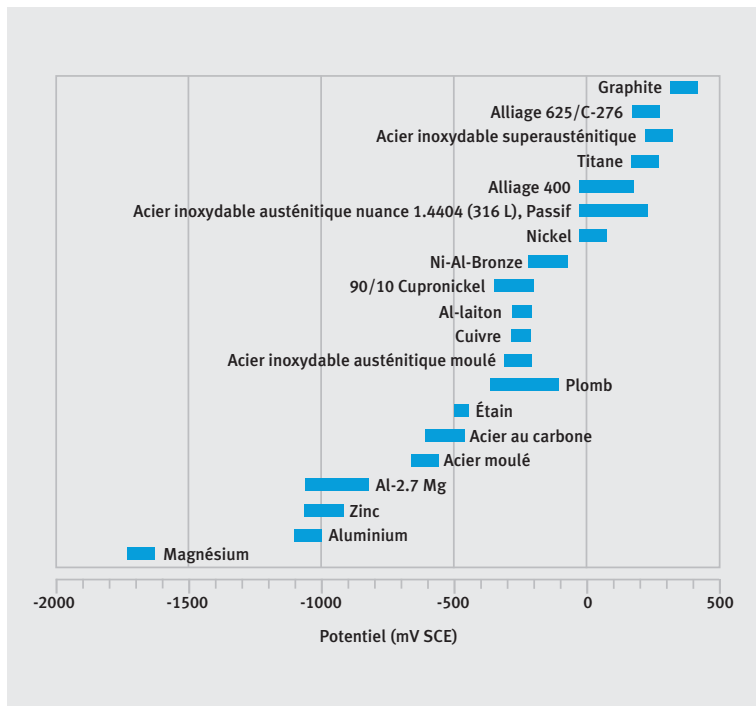
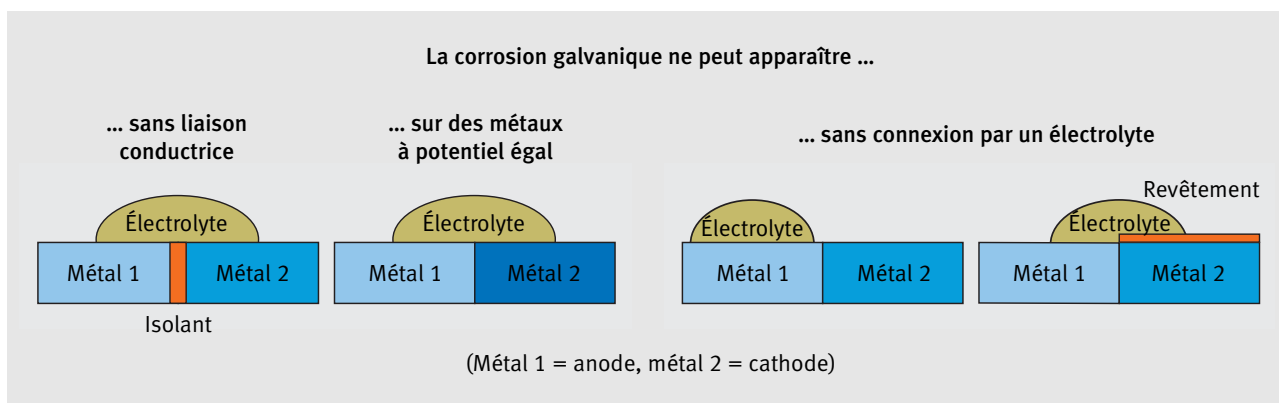


Figure 2 : Potentiels électrochimiques dans l'eau de mer à 10 °C [11]

Contrairement aux croyances répandues, la différence de potentiel dans une cellule électrochimique isolée n'est pas un bon indicateur du risque réel de corrosion galvanique. Elle indique seulement si un tel risque doit être pris en compte ou non. Dans ce contexte, il est important de garder à l'esprit que les nombreuses tables des potentiels standards des métaux donnent seulement une approximation des différences de potentiel. Le facteur décisif n'est pas la différence de potentiel observée dans les conditions expérimentales standardisées mais plutôt la différence mesurée dans les conditions réelles d'utilisation. C'est pour cette raison que l'on a créé des tables empiriques de séries galvaniques pour des environnements bien particuliers tels que l'eau de mer. Ces tables situent le potentiel des différents métaux dans un environnement donné (Figure 2).

La connaissance des conditions favorisant la corrosion galvanique et une bonne compréhension des exemples de la Figure 3 permettent de mettre en place des actions préventives. Celles-ci feront l'objet du Chapitre 5.

Figure 3 : Conditions dans lesquelles la corrosion galvanique ne peut apparaître



3 Facteurs essentiels et exemples

Selon la loi de Faraday, les réactions électrochimiques de la corrosion sont directement liées au transfert de charges, c'est-à-dire au flux de courant. Les courants ou les densités de courant sont par conséquent fréquemment utilisés pour mesurer la corrosion. Si les conditions pour obtenir de la corrosion galvanique sont réunies, en principe, courant total de corrosion I_{tot} est composé, d'une part, d'un courant d'auto-corrosion I_s (c'est-à-dire la part de corrosion qui est indépendante du contact avec d'autres matériaux) et d'autre part, d'un courant de cellule I_{el} (c'est-à-dire la part de corrosion due au courant de cellule entre les matériaux associés [Équation 1]).

$$I_{\text{tot}} = I_s + I_{\text{el}} \quad (\text{Équation 1})$$

L'intensité de la corrosion est déterminée par la différence de potentiel entre les deux métaux (ΔU), la résistance de l'électrolyte (R_{el}), et la résistance de polarisation, respectivement à l'anode ($R_{\text{p,a}}$) et à la cathode ($R_{\text{p,c}}$) (Équation 2).

$$I_{\text{el}} = \frac{\Delta U}{R_{\text{el}} + R_{\text{p,a}} + R_{\text{p,c}}} \quad (\text{Équation 2})$$

Des déductions peuvent être tirées de cette équation quant aux facteurs déterminant la corrosion galvanique. Ces facteurs sont décisifs pour savoir si la corrosion métallique va devenir ou non un problème technique à prendre en compte. Les effets de ces facteurs seront, de ce fait, discutés individuellement.

3.1 Résistance de l'électrolyte

Le risque de corrosion galvanique diminue lorsque la résistance de l'électrolyte augmente. Cela tient au fait que la portée du courant galvanique est réduite et la variation de potentiel à l'anode est limitée, comme illustré par la Figure 4.

La mesure du potentiel à la surface permet d'identifier, dans le cas d'une anode isolée, la position des potentiels respectifs de

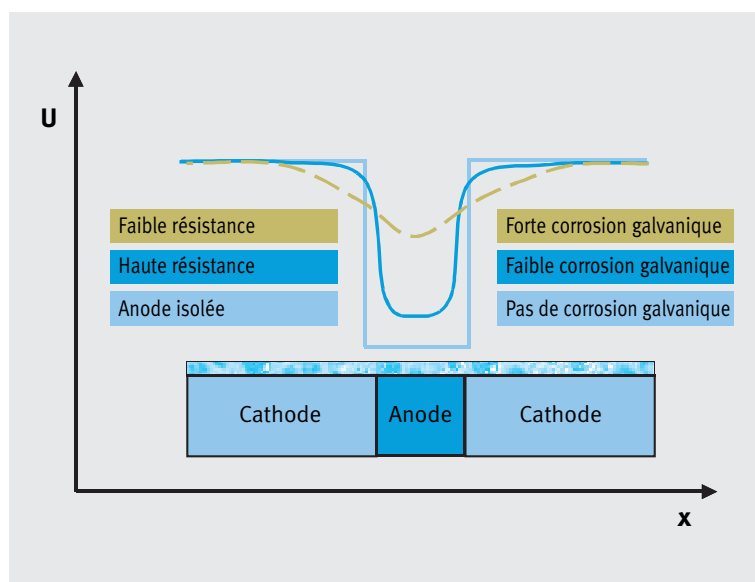


Figure 4 : Influence de la résistance de l'électrolyte sur la polarisation de l'anode

l'anode et de la cathode, indépendamment l'un de l'autre. Dans la zone de transition, on observe un saut de potentiel. S'il existe une connexion électrique entre la cathode et l'anode, une faible polarisation de l'anode vers des valeurs plus élevées est observée dans les électrolytes à haute résistance (tels que les films d'eau résultant de la condensation) ; dans le cas de films d'électrolyte à faible résistance (eau salée), une très forte polarisation est mesurée. Plus la polarisation est élevée, plus la corrosion de l'anode

est accélérée si le matériau est actif, ou plus grande est la probabilité d'atteindre le potentiel critique (initiation de la corrosion) si le matériau est dans son état passif. Le *Tableau 1* indique les valeurs spécifiques de conductivité de différents types d'eau.

3.2 Durée de mouillage et environnements

Il y a une forte interaction entre la résistance de l'électrolyte et le temps de mouillage. C'est d'une importance capitale là où les composants ne sont pas mouillés en permanence par des liquides aqueux. Comme expliqué plus avant, dans la description des conditions requises à la corrosion galvanique, le film d'électrolyte joue un rôle clé. Sans ce film, la corrosion galvanique ne peut avoir lieu. Cela implique, en pratique, qu'il n'y a pas grand danger de corrosion pour des matériaux combinés s'il n'y a pas de film d'électrolyte. Ce phénomène est typique des milieux intérieurs sans condensation. Dans

un environnement normalement aéré et chauffé, on peut combiner pratiquement tous les matériaux, par exemple dans le matériel d'éclairage ou pour des éléments de décoration intérieure, sans aucune restriction en terme de risque de corrosion (*Figure 5*).

La durée d'exposition et la résistance de l'électrolyte dépendent fortement toutes deux des conditions locales. La probabilité de voir apparaître de la corrosion galvanique est nettement supérieure dans un environnement marin, industriel ou de piscine couverte, que dans des conditions atmosphériques rurales. *La Figure 6* montre l'influence de l'environnement sur la vitesse de corrosion du zinc, avec et sans contact avec l'inox. Cela démontre que la proportion de corrosion de cellule (c'est-à-dire la différence entre les vitesses de corrosion) excède celle de l'auto-corrosion (c'est-à-dire la vitesse de corrosion du zinc sans contact avec l'inox) dans une atmosphère côtière et dans une zone de projection d'eau de mer.

Tableau 1 :
Valeurs typiques de la
conductivité spécifique
dans différents types
d'eau

Environnement	Conductivité spécifique en $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$
Eau pure	$5 \cdot 10^{-8}$
Eau déminéralisée	$2 \cdot 10^{-6}$
Eau de pluie	$5 \cdot 10^{-5}$
Eau potable	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
Eau de rivière saumâtre	$5 \cdot 10^{-3}$
Eau de mer	$3,5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$

Mis à part l'atmosphère ambiante, les détails de conception jouent un rôle décisif. Les facteurs facilitant un séchage rapide des films d'humidité (aération adéquate, prévention des crevasses, écoulement libre de l'eau de pluie) réduiront l'attaque corrosive. Les zones humides en permanence dans les crevasses ou les zones couvertes, l'eau stagnante et les surfaces souillées peuvent considérablement accélérer la corrosion galvanique.

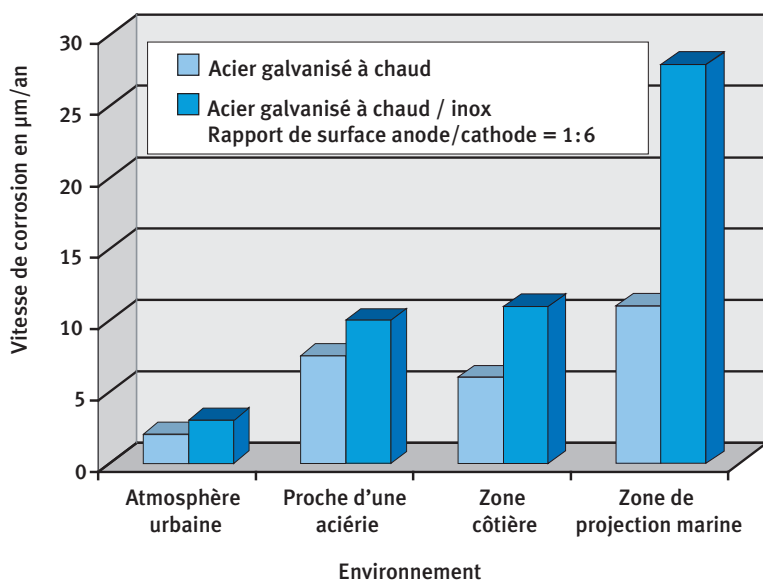


Figure 6 : Vitesses de corrosion d'aciers galvanisés à chaud, avec et sans contact avec l'inox dans des environnements différents

Figure 5 : L'absence typique d'électrolytes dans un environnement intérieur normalement chauffé et aéré diminue le risque de corrosion galvanique lors de l'association d'inox avec d'autres matériaux métalliques comme l'acier au carbone peint.

3.3 Cinétique des réactions d'électrode

La cinétique des réactions d'électrode est formulée dans l'Équation 3 en partant des valeurs de résistance de polarisation de l'anode et de la cathode. De faibles différences de potentiel à raison de 100 mV peuvent occasionner de la corrosion, alors que des métaux avec des différences de potentiels très élevées peuvent être mis en contact sans difficulté. En fait, la différence de potentiel ne fournit pas d'information quant à la cinétique de la corrosion galvanique. Cette dernière dépend du métal. Le titane, par exemple, réduit l'oxygène dissous bien moins facilement que le cuivre. Cela explique pourquoi l'acier au carbone est plus rapidement corrodé lorsqu'il est en contact avec le cuivre qu'avec le titane, bien que ce dernier ait un potentiel positif plus élevé que le cuivre.

Dans ces conditions, la formation de couches de corrosion joue aussi un rôle décisif. Ces couches peuvent fortement modifier le potentiel d'un matériau ; elles peuvent aussi être un obstacle aux réactions partielles anodique et/ou cathodique.

3.4 Zones cathodique et anodique

Un des paramètres du calcul de la densité de courant de cellule, i_{el} (courant de cellule surfacique) est le rapport des surfaces cathodique (A_c) et anodique (A_a). Il a une grande influence sur la cinétique de la corrosion galvanique (Équation 3).

$$i_{el} = \frac{A_c}{A_a} \cdot \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{Equation 3})$$

Tant que la surface cathodique (le métal plus noble du couple galvanique) est très petite par rapport à la surface anodique (le métal moins noble), aucun changement de com-

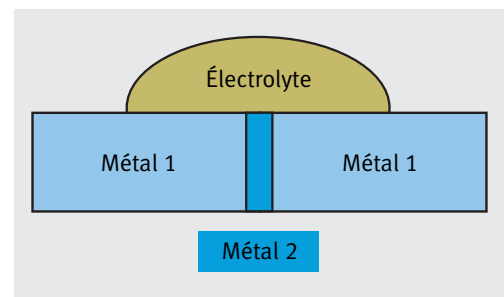


Figure 7 :
Tant que la cathode (métal 2) est beaucoup plus petite que l'anode (métal 1), aucun dommage n'est causé.

Figure 8a, 8b :
Des fixations en inox sur des pièces beaucoup plus grandes en acier galvanisé n'occasionnent normalement pas de corrosion.



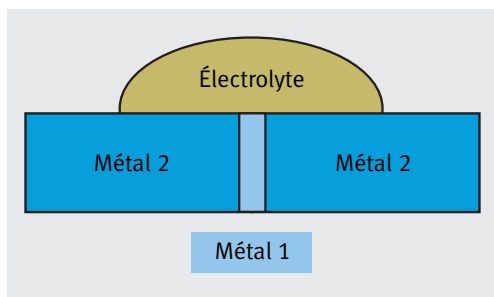


Figure 9 :
La corrosion galvanique est susceptible d'apparaître si l'anode (métal 1) est petite et la cathode (métal 2) grande.

portement face à la corrosion n'est observé. Cette situation est illustrée par la Figure 7.

On peut trouver des exemples typiques où des fixations en inox sont utilisées sur des pièces en aluminium ou en acier galvanisé. Deux applications concrètes sont illustrées en Figure 8. Même dans des conditions corrosives, ce type d'assemblages n'entraîne pratiquement pas de corrosion.

Dans certaines conditions atmosphériques, il est parfois difficile de quantifier les proportions actives des surfaces anodiques et cathodiques réellement actives. Néanmoins, pour une évaluation pratique, ceci n'est pas forcément nécessaire. Habituelle-

ment, il suffit de considérer le système dans son ensemble. Dans les combinaisons de matériaux, les fixations doivent toujours être faites dans un matériau plus noble afin que la surface cathodique soit moindre.

Dans la situation inverse, cela peut poser un problème. Si une petite anode est en contact avec une grande cathode, la corrosion galvanique peut survenir, comme montré en Figure 9.

La Figure 10 montre des exemples caractéristiques d'une telle situation. Dans ces cas de figure, il est clair que l'anode va subir une corrosion accélérée dans des conditions corrosives.



Figure 11 :
Pour prévenir la corrosion galvanique, seules des fixations en inox devraient être utilisées sur des panneaux en inox

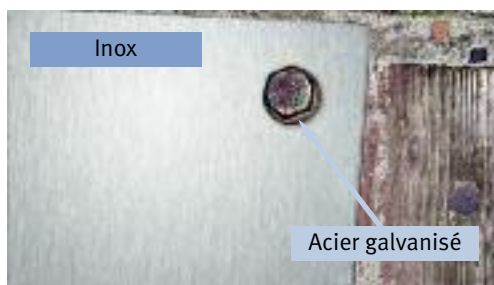
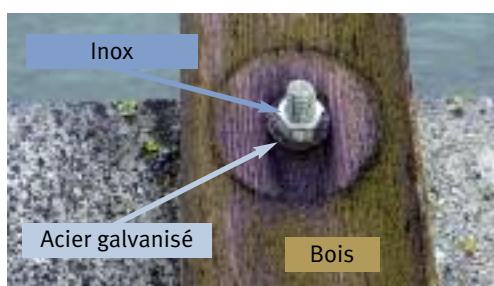


Figure 10a, 10b :
Illustrations concrètes du principe expliqué à la Figure 9 (acier galvanisé en contact avec l'inox, dans une atmosphère marine)

4 Expériences pratiques dans différentes applications

Des recherches poussées ainsi que des expériences pratiques sont disponibles sur le comportement, face à la corrosion, de différentes associations de matériaux impliquant l'inox, dans plusieurs conditions différentes. Quelques résultats pertinents sont illustrés dans les *Tableaux 2 à 5*. Tous les résultats font référence aux nuances d'inox stabilisées à taux de carbone élevé. En principe, les résultats sont applicables aux

nuances à faible teneur en carbone, telles que les nuances 1.4307 ou 1.4404. De plus amples informations peuvent être trouvées dans des ouvrages appropriés, dans la mesure où le système de corrosion est considéré dans son ensemble.

Mis à part les valeurs numériques, l'expérience pratique permet d'établir quelques constats d'ordre général, lesquels seront détaillés dans les chapitres suivants.

Tableau 2 : Vitesses de corrosion de différents matériaux métalliques en contact avec l'inox

Cellule galvanique		Environnement	Rapport de surface	Vitesse de corrosion (mm/an)	
1.4016	Acier au carbone	Eau potable, aérée	1:1	0,47	
	Zn 99.9			0,26	
	Al 99.9			0,17	
	Cu-DGP			0,07	
	Ti			< 0,01	
1.4541	SF-Cu	Eau de mer artificielle	1:1	0,12	
			1:10	0,07	
			10:1	1,00	
	Acier au carbone		1:1	0,38	
			1:10	0,25	
			10:1	1,10	
	Zn		1:1	0,61	
			Ti	1:1	< 0,01

Tableau 3 : Vitesses de corrosion du ZnCuTi en contact avec de l'inox 1.4541 et 1.4571 dans 0,1N NaCl (aéré, saturé en CO₂, température ambiante) selon la norme DIN 50919

Cellule galvanique		Rapport de surface	Vitesse de corrosion (mm/an)
1.4541	ZnCuTi	1:1	4,39
		1:5	1,43
1.4571	ZnCuTi	1:1	3,88
		1:5	0,91

Tableau 4 : Vitesses de corrosion de différents matériaux métalliques en contact avec une variété de nuances d'inox dans une solution aqueuse de NaCl (5 % vol.) à 35 °C, rapport de surface 1:1 (DIN 50919)

Cellule galvanique	Vitesse de corrosion (mm/an)		
	X6CrMo17-1 1.4113	X2CrTi12 1.4512	X5CrNi18-10 1.4301
Acier au carbone	0,62	0,66	0,69
Acier galvanisé à chaud	0,51	0,51	0,55
ZnAl 4 Cu 1	0,66	0,66	0,69
AlMg 1	0,15	0,29	0,29
Cu-DGP	0,04	0,04	0,04
CuZn 40	0,04	0,04	0,04

Tableau 5 : Vitesses de corrosion de différents matériaux en contact avec de l'inox 1.4439 dans la mer du Nord (conditions réelles) pendant 1 an

Cellule galvanique		Rapport de surface	Vitesse de corrosion (mm/an)
1.4439	Acier au carbone	1:1	0,31
		4:1	0,75
		10:1	2,10
1.4439	AlMg 4.5 Mn	1:1	0,17
		4:1	0,26
		10:1	0,95
1.4439	CuNi 10 Fe	4:1	0,07
1.4439	CuZn 20 Fe	4:1	0,18

4.1 Eau et traitement des eaux usées

Selon sa composition, l'eau peut avoir des effets corrosifs très variables sur l'inox : l'eau déionisée sans impuretés n'est pas corrosive (sauf à des températures extrêmement élevées). L'eau potable et l'eau de composition similaire contiennent des ions chlorures en concentrations modérées (max. 250 mg/L, selon la directive Eau Potable). Dans des conditions défavorables, elles peuvent occasionner une corrosion par piqûres ou par crevasses et, avec l'action combinée de hautes températures et de concentration en chlorures, de la corrosion sous contrainte. Dans la plupart des cas, les nuances aus-

ténitiques CrNiMo telles que 1.4401, 1.4404 et 1.4571 sont résistantes à la corrosion, si correctement mises en œuvre. Il existe également de nombreux exemples où la nuance 1.4301 est utilisée avec succès.

Dans l'eau potable, le risque de corrosion galvanique est modéré. Cela fait plusieurs années que l'on combine l'inox, le cuivre, les alliages de cuivre et le laiton rouge avec succès pour des applications d'eau chaude et froide pour tuyaux, connecteurs et réservoirs, sans dégâts de corrosion galvanique (Figure 12). Tandis que l'acier au carbone peut-être associé avec l'inox dans de l'eau faiblement oxygénée, coupler de l'acier galvanisé et des alliages d'aluminium entraîne



un risque de corrosion galvanique de ces derniers [2].

Dans les systèmes de traitement des eaux usées, les conditions sont moins évidentes. Il existe une grande variété de compositions de l'eau, certaines ayant une forte conductivité. Le risque de corrosion galvanique est accru par la haute corrosivité des eaux usées sur de nombreux matériaux. Le *Tableau 6* donne un aperçu de la compatibilité de différents matériaux dans des eaux usées aérées. Dans les joints brasés, le choix d'un métal d'apport de brasage résistant à la corrosion est primordial.

Figure 12 :
La combinaison d'inox avec du cuivre et des alliages de cuivre, tels que le bronze, donnent de bons résultats en plomberie.

Tableau 6 : Compatibilité de différents matériaux dans des eaux usées aérées

		Matériau ayant une petite surface				
		Acier au carbone / acier moulé	Zn / acier galvanisé	Al	Cu	Inox
Matériau ayant une grande surface	Acier au carbone / acier moulé	+	+	-	o / -	+
	Zn / acier galvanisé	-	+	-	o*	+
	Al	-	o / -	+	-	+
	Cu	-	-	-	+	+
	Inox	-	-	-	o	+
	Acier dans le béton	-	-	-	+	+

Légende : + bon o incertain - mauvais

* Bien qu'associer ces métaux ait peu d'influence sur les matériaux, ces combinaisons ne sont pas recommandées en raison de la forte auto-corrosion du métal moins noble.

L'eau de mer (avec une concentration habituelle en ions chlorure d'environ 16.000 mg/L) et les eaux similaires à taux élevé en ions chlorure sont très agressives en termes de corrosion et requièrent des nuances plus alliées telles que EN 1.4462, 1.4439, 1.4539, ou 1.4565, ou des alliages à base de nickel. On peut trouver les recommandations pour prévenir la corrosion de plusieurs matériaux métalliques dans l'eau dans la norme EN 12502, parties 1 à 5 [2]. Le risque de corrosion galvanique dépend essentiellement de la conductivité de l'eau (voir Chapitre 2). L'eau déionisée est donc normalement sans danger à cet égard.

En tant qu'environnement fortement conducteur, l'eau de mer tend à favoriser la corrosion galvanique. Non seulement les pièces en alliage d'aluminium, en zinc ou en acier galvanisé encourent-elles un risque, mais également celles fabriquées en cuivre ou en bronze. La *Figure 13* montre l'influence du rapport cathode/anode sur la vitesse de corrosion dans les assemblages mixtes comprenant de l'inox et de l'acier au carbone. Il apparaît clairement que dans les milieux fortement conducteurs, la distance entre la cathode et l'anode n'a pas d'influence significative. A partir du moment où il existe une connexion conductrice (par exemple via une terre commune), les pièces métalliques sont sujettes à la corrosion par contact, même si elles sont relativement distantes l'une de l'autre.

Il y a un risque général de corrosion dans les installations de traitement de l'eau qui mettent en contact l'inox avec du charbon actif, lequel est communément utilisé en filtration. Dans certains cas, des particules du matériau filtrant peuvent se détacher et entrer en contact avec l'inox. La grande surface

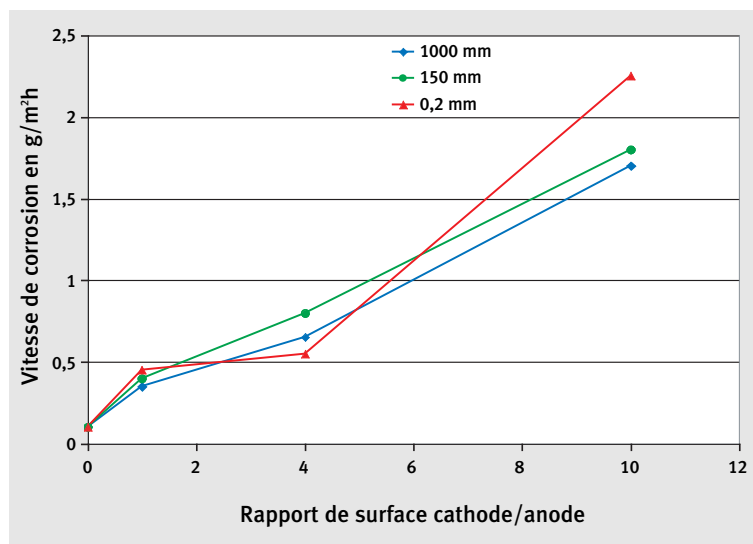


Figure 13 : Influence du rapport de surface et de la distance entre l'anode et la cathode sur la vitesse de corrosion de l'acier au carbone en contact avec l'inox dans l'eau de mer (immersion permanente dans l'eau de la mer du Nord)

du matériau filtrant peut alors agir comme une cathode et décaler la polarisation de l'inox de 200 à 300 mV positivement. Même à faible concentration en ions chlorure, ce décalage peut induire de la corrosion soit par crevasses, soit par piqûres, des nuances ferritiques et austénitiques ne contenant pas de molybdène. Un exemple de ce processus est illustré en *Figure 14*. Dans cette station hydraulique, des phénomènes de corrosion se manifestent dans un bassin destiné à l'eau brute d'une teneur en ions chlorure moyenne de 150 mg/L. Les fixations en inox joignant les plaques d'appui des filtres au béton armé sont particulièrement affectés. La corrosion par piqûres et par crevasses n'a été observée que dans les bassins de filtrage dans lesquels on a utilisé du charbon actif comme matériau filtrant, celui-ci pouvant entrer en contact avec les fixations durant les opérations de rinçage. En plus des nuances spécifiées 1.4301, 1.4571 et 1.4401, utilisées pour les différents éléments de fixation, la nuance ferritique 1.4016 a été employée par erreur. En toute logique, cette nuance a été la plus affectée par la corrosion.

Figure 14 :
Corrosion galvanique des fixations en inox d'un bassin de filtrage d'une installation de traitement de l'eau, impliquant des charbons actifs : assemblage (à gauche) et corps de boulon en nuance 1.4016, montrant une perte de section due à la corrosion (à droite)



4.2 Composants en condition atmosphérique

Alors qu'un électrolyte est généralement présent dans les canalisations et les réservoirs de média aqueux, il ne le sera pas automatiquement dans le cas de composants en air ambiant. Dans ces conditions, la corrosion ne peut apparaître que pendant l'exposition à l'humidité. La surface n'entre pas forcément en contact direct avec la pluie ou les projections d'eau ; souvent, des films microscopiques d'humidité peuvent se former par absorption de la vapeur d'eau de l'air ambiant. Une condensation visible peut également apparaître. Les impuretés et les dépôts hygroscopiques sur les composants peuvent avoir une influence significative sur la durée d'humidification. Les crevasses mal aérées, par exemple sous les rondelles ou entre des tôles superposées, peuvent entraîner une humidité quasi permanente. A la différence des systèmes aqueux, la formation d'éléments, ici, n'affectera que des petites surfaces. Les deux matériaux ne s'influencent que sur une très petite zone, le long de la ligne de contact, la plus grande surface du métal associé n'ayant qu'un rôle insignifiant. Dans ces cas-là, le rapport de

surface n'a qu'un effet limité, de telle sorte que les règles bien connues du rapport de surface ne s'appliquent pas de façon normale.

En raison de l'étendue limitée des éléments dans l'air ambiant, le simple fait de couvrir l'inox dans la zone située le long de la ligne de contact est généralement suffisant pour prévenir la corrosion galvanique.

Les crevasses mouillées en permanence entre l'inox et un matériau moins noble, tel que l'aluminium, le zinc, ou une pièce galvanisée, peuvent être des zones problématiques. Comblers les crevasses avec des joints élastiques est un remède qui a fait ses preuves. Les matériaux d'étanchéité, fragiles et sujets à la craquelure, peuvent même aggraver la situation.

Le *Tableau 7* donne des informations sur la compatibilité de différents matériaux dans des conditions atmosphériques données.

4.3 L'inox dans le bâtiment

L'inox est de plus en plus utilisé dans le bâtiment. Au-delà des possibilités qu'il offre en matière de conception architecturale, la facilité de sa fabrication et sa haute résistance à la corrosion sont d'une importance primordiale. On utilise l'inox pour les surfaces visibles, les éléments de structure et les fixations (telles que les boulons). Les nuances les plus communément employées sont les types 18/8 CrNi et 17/12/2 CrNiMo. Ce dernier type est utilisé, en particulier, pour les surfaces de haute qualité, dans les environnements industriels et urbains, ou pour les structures inaccessibles comme les supports de façades. Il peut être difficile de combiner l'inox à d'autres matériaux métalliques. La susceptibilité à la corrosion dépend fortement de la conception : sur des surfaces mouillées par la pluie ou la condensation, dans des environnements intérieurs ou extérieurs, les différents métaux ont une

faible interaction, et cette dernière n'a de conséquence que sur la zone proche de la ligne de contact.

Pour les zones exposées à l'atmosphère extérieure et à la condensation, le temps de mouillage est le facteur clé. L'exposition occasionnelle ou de courte durée à des films d'humidité n'entraîne généralement pas de corrosion galvanique. La conception est, dès lors, de première importance. Les facteurs favorisant un séchage rapide de l'humidité (bonne aération, prévention des crevasses, écoulement libre de l'eau de pluie, surfaces lisses) réduisent les attaques corrosives. Le risque de corrosion galvanique augmente considérablement pour les zones humides en permanence (crevasses ou endroits abrités), les zones en contact avec de l'eau stagnante et des impuretés. Les parties exposées, dont les impuretés sont éliminées par l'eau de pluie, et qui sont suffisamment aérées pour sécher rapidement, sont moins vulnérables à la corrosion que les zones ren-

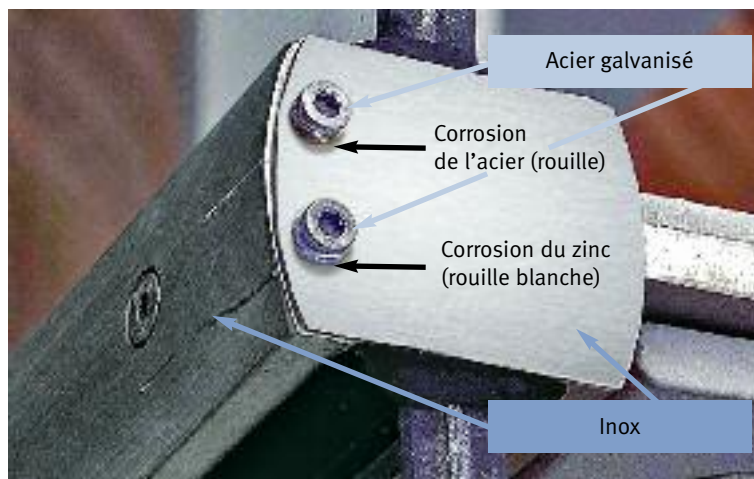
Tableau 7 : Compatibilité des matériaux dans l'air ambiant

		Matériau de petite surface				
		Acier au carbone/ acier moulé	Zn/acier galvanisé	Al	Cu	Inox
Matériau de grande surface	Acier au carbone / acier moulé	+	-	-	+	+
	Zn / acier galvanisé	+	+	+	o	+
	Al	o / -	o	+	o / -	+
	Cu	-	-	-	+	+
	Inox	-	-	o / -	+	+

Légende : + bon o incertain - mauvais

* Bien que l'association de ces métaux ait peu d'influence sur les matériaux, elle n'est pas recommandée en raison de la forte auto-corrosion du métal moins noble.

Figure 15 :
Fixation d'une couverture
inox (sur une façade) en
utilisant des vis en acier
galvanisé : les vis laissent
apparaître de la
rouille blanche et une
décoloration (corrosion
de l'acier) après un an
en atmosphère urbaine



foncées qui, bien que protégées de la pluie, restent humides longtemps et permettent aux impuretés de s'accumuler.

Bien que le rapport de surface ne joue qu'un rôle limité dans l'identification des risques de corrosion, les conceptions dans lesquelles les anodes sont petites et les cathodes relativement grandes sont à éviter. Si ce principe n'est pas respecté, la corrosion galvanique reste possible, même sur les zones bien aérées.

La Figure 15 montre en exemple l'extrémité d'un profilé en inox d'une façade vitrée qui a été fermée en utilisant des fixations en acier galvanisé. Partant de la crevasse entre le couvercle et les vis, de la rouille blanche s'est formée, et le matériau de base est partiellement corrodé. Ces phénomènes ont été observés après seulement 12 mois de service, indiquant que ce n'est pas une solution durable. Les vis en acier galvanisé devraient être remplacées par des fixations en inox.

En technique de couverture, que ce soit dans la construction nouvelle ou la rénovation, l'inox est principalement utilisé pour les fixations qui sont en contact avec d'autres matériaux métalliques ou avec des

matériaux à revêtement métallique. Grâce aux proportions favorables des surfaces anodiques et cathodiques, il n'y a généralement aucun risque de corrosion dans de telles associations de matériaux. Dans la réparation des toits, il n'est pas inhabituel de joindre de plus grandes surfaces d'inox à d'autres métaux. Ces associations peuvent être considérées comme étant sans risque tant que le rapport entre les parties en inox et celles en aluminium ou en acier galvanisé n'excède pas 1:1 de manière significative.

Les Figures 16 à 19 montrent des exemples pratiques d'une protection efficace face au risque de corrosion galvanique dans les enveloppes de bâtiments.



Figure 16 :
Panneaux extérieurs en
inox fixés sur une struc-
ture en acier au carbone
sur l'Atomium, Bruxelles



Figure 17 :
Le panneau extérieur en
inox est isolé du pan-
neau intérieur en acier
galvanisé par des joints
adéquats

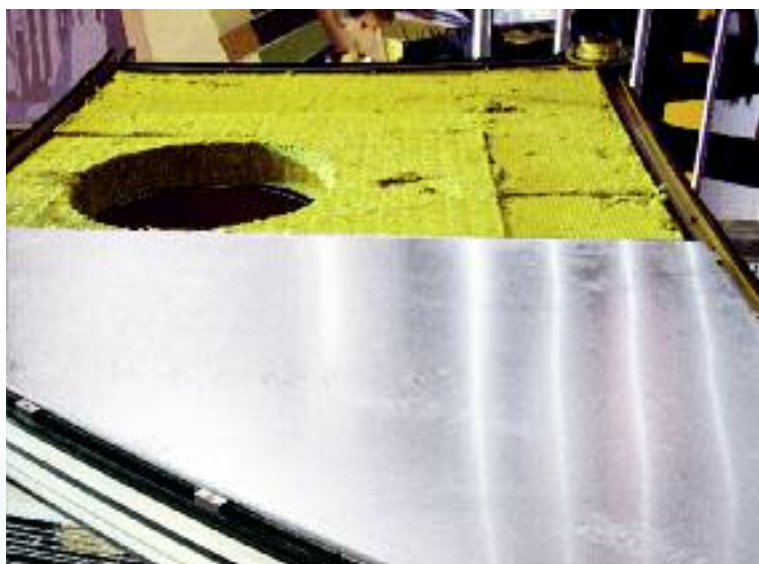


Figure 18 :
Fabrication des panneaux
isolants en utilisant de
l'inox pour l'enveloppe
extérieure et de l'acier
galvanisé pour la face
interne



Figure 19 :
Afin de prévenir la corro-
sion galvanique, le bar-
dage en inox est fixé à la
structure interne en acier
au carbone dans les zones
non humides.



Figure 20 :
Dans les systèmes
d'échappement automo-
bile, l'inox est le maté-
riau de référence. Les
parties élastomères des
fixations préviennent la
corrosion galvanique.

Figure 21 :
L'inox est de plus en plus
utilisé pour les réservoirs
de carburant. Les fixa-
tions qui les tiennent en
place assurent l'isolation
électrique à la jonction.



4.4 L'inox dans les transports

Dans les voitures particulières et autres véhicules routiers, l'inox (nuances ferritiques avec 12 % à 18 % de chrome, et nuances austénitiques avec environ 18 % de chrome) est utilisé pour les garnitures, les systèmes d'échappement (Figure 20), les réservoirs de carburant (Figure 21) et, de plus en plus, pour certains éléments de la carrosserie et du châssis. Dans les applications ferroviaires, on a souvent recours à l'option qui consiste à allier des nuances ferritiques à la peinture (Figures 22, 23 et 24). L'utilisation de nuances austénitiques pour les wagons (Figure 25) est également une tradition de longue date dans une large partie du monde, sans problèmes de corrosion galvanique.



Figure 22 :
Des techniques simples d'isolation rendent la structure en inox ferritique du tram compatible avec le châssis en acier au carbone.

Figure 23 :
Sur cette paroi d'un train de banlieue, la structure et les panneaux extérieurs sont faits de nuances différentes d'inox. Comme ceux-ci ont des potentiels identiques, il ne peut y avoir de corrosion galvanique.



Figure 24 :
Utilisé pour les bus et les cars, l'inox (habituellement une nuance ferritique peinte) a prouvé sa compatibilité avec les châssis en acier au carbone.

Dans ce cas-ci également, il est essentiel d'éviter les crevasses entre les composants en inox, d'une part, et ceux des matériaux moins nobles, d'autre part, étant donné que la corrosion due aux impuretés et à l'humidité peut s'y loger. Comme mentionné plus haut, les crevasses peuvent être comblées par un polymère approprié. Une autre précaution efficace contre la corrosion galvanique dans les transports consiste à appliquer un revêtement local sur le côté inox de la zone de contact, comme décrit précédemment.



Figure 25 :
Des wagons avec des panneaux extérieurs en inox austénitique ont été utilisés dans une large partie du monde, sans problèmes de corrosion galvanique.

Questions fréquemment posées

Question :

Y a-t-il un risque de corrosion galvanique si l'on associe des nuances d'inox de différentes compositions chimiques ?

Réponse :

Entre les différentes nuances d'inox (également entre les nuances de résistances différentes à la corrosion), il n'y a généralement

faible résistance à la corrosion doit néanmoins être suffisamment résistant dans les conditions données (Figure 26).

Question :

L'inox peut-il être utilisé en combinaison avec du cuivre ou de l'acier galvanisé pour la réparation de plomberie domestique ?

Réponse :

Aucun problème n'est à prévoir lorsque l'inox est combiné avec de la tuyauterie en cuivre, car leurs potentiels de corrosion ne sont pas très différents dans l'eau potable. Les éléments de tuyauterie en acier galvanisé à chaud peuvent également être combinés avec l'inox. Cependant, il est recommandé d'utiliser des connecteurs en alliages cuivre-zinc ou laiton rouge.

Question :

Peut-on joindre des armatures en inox à de l'acier au carbone dans du béton armé ?

Réponse :

Oui, pour les armatures en acier au carbone, ce genre de combinaison ne pose pas de problème de corrosion étant donné que

Figure 26 :

Il n'y a pas de corrosion galvanique entre différents types d'inox, même s'ils n'ont pas la même résistance à la corrosion



pas de corrosion galvanique étant donné que les potentiels de corrosion libres des deux matériaux associés sont identiques. Cependant, la résistance à la corrosion de chaque alliage doit être prise en compte individuellement. Le matériau ayant la plus

les potentiels de corrosion sont identiques. Une telle combinaison peut être utilisée pour prévenir la corrosion lorsque les renforts pénètrent dans le béton ou entrent en contact avec des profilés. La jonction doit être faite au sein même du béton, avec un enrobage de béton de 3 cm minimum. Si l'armature en acier au carbone est à l'état actif (c'est-à-dire qu'elle est dépassivée, en raison de l'influence des chlorures et/ou de la carbonatation) il y a possibilité de corrosion galvanique. Toutefois, dans la plupart des cas, cet effet est moindre que celui – inévitable – de la formation de couple entre les armatures en acier au carbone passives et actives (corrosion galvanique due au couple actif/passif) puisque le rendement cathodique de l'inox est beaucoup plus faible que celui de l'acier au carbone (*Figure 27*).

Question :

Les rondelles en polymères isolants sont-elles efficaces pour prévenir la corrosion galvanique des joints mécaniques ?

Réponse :

Bien que ces joints n'interrompent pas le

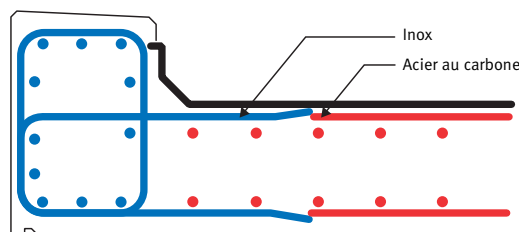


Figure 27 : Avec un minimum d'enrobage de béton et à condition que l'acier au carbone soit dans son état passif, les armatures en inox peuvent être mises en contact avec de l'acier au carbone sans risque de corrosion galvanique.

contact métallique entre les matériaux sur la zone à risque, de telles rondelles sont à recommander dans la mesure où elles protègent les zones les plus menacées.

Question :

Le remplissage en inox de garde-corps peut-il être combiné avec des poteaux en acier au carbone ?

Réponse :

Un tel contact peut être envisagé si la conception prévient la formation d'électrolytes (par exemple la pluie ou la neige fondante) sur une période prolongée. Sinon, il faut utiliser des manchons en plastique.

5 Prévenir la corrosion galvanique

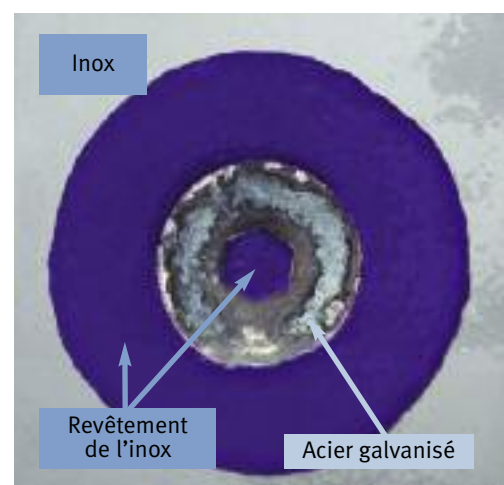
La manière la plus évidente de prévenir la corrosion galvanique est de sélectionner des matériaux suffisamment compatibles lors de la conception. S'il y a risque d'interférence entre les matériaux à utiliser, des mesures de protection doivent être prises. Le Chapitre 2 donne des indications sur la nature de ces mesures. La *Figure 3* décrit les possibilités pratiques :

- isolation électrique des composants (isolants, manchons polymères, rondelles en polyamide);
- positionnement du joint dans une zone qui n'est pas exposée à l'humidité;
- revêtir soit la cathode, soit l'anode et la cathode (sur de grandes surfaces ou localement, près du joint).

Il est à noter que revêtir uniquement l'anode n'est pas une technique adéquate pour prévenir la corrosion galvanique. Des imperfections dans le revêtement ou des dommages locaux, difficiles à éviter sur chantier, créent des sites particulièrement sujets à la corrosion : tout dommage occasionné au revêtement expose une petite anode, qui peut ensuite se corroder rapidement.

Pour réduire l'effet cathodique de la partie en inox, il suffit généralement de revêtir l'inox autour du joint (*Figure 28*). La largeur de la zone à couvrir dépend de la conductivité de l'environnement corrosif. Pour les composants exposés à une atmosphère intérieure normale et à des films d'électrolyte peu conducteurs, il suffit, la plupart du temps, de revêtir une zone de quelques centimètres de large, le long de la zone de contact, sur la face inox. Dans les films liquides et salés de plusieurs millimètres d'épaisseur, la zone cathodique effective sera plus large que 10 cm.

Figure 28 :
Pour prévenir la corrosion galvanique de la pièce en acier galvanisé, il suffit de couvrir une petite surface sur le côté inox. Résultats d'un test de brouillard salin de 48h : sans revêtement, la corrosion galvanique induit la rouille (à gauche), alors que le revêtement de l'inox dans la zone de contact prévient la corrosion galvanique (à droite)



6 Bibliographie

- [1] DIN EN ISO 8044,
Ausgabe:1999-11
Korrosion von Metallen und
Legierungen – Grundbegriffe
und Definitionen
- [2] DIN EN 12502
Teil 1 bis 5, Ausgabe:2005-03
Korrosionsschutz metallischer
Werkstoffe – Hinweise zur
Abschätzung der Korrosionswahr-
scheinlichkeit in Wasserverteilungs-
und Speichersystemen
- [3] H. Gräfen,
"Korrosionsschutz durch
Information und Normung"
Kommentar zum DIN-Taschenbuch
219, Verlag Irene Kuron, Bonn (1988)
S. 37
- [4] H. Spähn, K. Fäßler
"Kontaktkorrosion"
Werkstoffe und Korrosion 17 (1966)
S. 321
- [5] D. Kuron
"Aufstellung von Kontaktkorrosions-
tabellen für Werkstoffkombinationen
in Wässern"
Werkstoffe und Korrosion 36 (1985)
S. 173
- [6] D. Kuron, E.-M. Horn, H. Gräfen
"Praktische elektrochemische
Kontaktkorrosionstabellen von
Konstruktionswerkstoffen des Chemie-
Apparatebaues"
Metalloberfläche 26
(1967) Nr. 2, S. 38
- [7] H. Spähn, K. Fäßler
"Kontaktkorrosion im
Maschinen- und Apparatebau"
Der Maschinen Schaden 40 (1967)
Nr. 3, S. 81
- [8] W. Schwenk
"Probleme der Kontaktkorrosion"
Metalloberfläche 35
(1981) Nr. 5, S. 158
- [9] K.-H. Wiedemann, B. Gerodetti,
R. Dietiker, P. Gritsch
"Automatische Ermittlung von
Kontaktkorrosionsdaten und ihre
Auswertung mittels
Polarisationsdiagrammen"
Werkstoffe und Korrosion 29 (1978)
S. 27
- [10] E. Hargarter, H. Sass
"Kontaktkorrosion zwischen verschie-
denen Werkstoffen in Meerwasser"
Jahrbuch der Schiffbautechnischen
Gesellschaft 80
(1986) S. 105
- [11] R. Francis
"Galvanic Corrosion:
a Practical Guide for Engineers"
NACE International (2001)
Houston Texas 77084
ISBN 1 57590 110 2
- [12] GfKorr-Merkblatt 1.013
"Korrosionsschutzgerechte
Konstruktion"
(2005)
- [13] Allgemeine bauaufsichtliche
Zulassung Z-30.3-6
"Erzeugnisse, Verbindungsmittel und
Bauteile aus nichtrostenden Stählen"
(jeweils gültige Fassung)
Sonderdruck 862 der Infor-
mationsstelle Edelstahl Rostfrei

ISBN 978-2-87997-323-4