

Corrosion

valable à partir du: 27 mai 2025

NUSSBAUM_{RN}

Gut installiert Bien installé Ben installato

Thématiques

Table des matières

1	Introduction	5
2	Les bases de la corrosion	6
2.1	Formation d'un potentiel	6
2.2	Mesure du potentiel	7
2.3	Equation de Nernst	8
2.4	Série de potentiels électrochimiques	9
2.5	Éléments galvaniques.....	10
2.6	Courant de corrosion et règles des surfaces.....	11
2.7	Les catégories de corrosion atmosphérique	12
3	Types de corrosion	13
3.1	Corrosion à haute température	13
3.2	Corrosion par oxygène	14
3.2.1	Aspect des dommages.....	14
3.3	Corrosion par hydrogène.....	15
3.3.1	Aspect des dommages.....	15
3.4	Corrosion bimétallique	16
3.4.1	Aspect des dommages.....	16
3.4.2	Comment éviter la corrosion bimétallique.....	17
3.5	Corrosion surfacique	18
3.5.1	Aspect des dommages.....	18
3.6	Corrosion par piqûres.....	19
3.6.1	Corrosion par piqûres des aciers anticorrosion (indice PRE).....	19
3.6.2	Aspect des dommages.....	20
3.6.3	Comment éviter la corrosion par piqûres	20
3.7	Corrosion fissurante sous tension	21
3.7.1	Aspect des dommages.....	22
3.8	Corrosion induite par un flux	23
3.8.1	Corrosion par érosion	23
3.8.2	Corrosion par cavitation	25
3.9	Corrosion sélective	28
3.9.1	Dézincification.....	28
3.9.2	Diagramme de Turner.....	28
3.9.3	Aspect des dommages.....	30
3.10	Corrosion intercristalline	30
3.10.1	Aspect des dommages.....	31

3.11	Corrosion par courant vagabond	32
3.11.1	Comment éviter la corrosion par courant vagabond	33
3.12	Biocorrosion (MIC).....	36
3.12.1	Aspects rencontrés	36
3.12.2	Biocorrosion dans les installations sprinklers.....	36
3.12.3	Aspect des dommages.....	36
4	Dépôts de calcaire dans les raccords en laiton	38
4.1	Aspect des dommages	38
4.2	Comment éviter les dépôts de calcaire.....	39
4.2.1	Séparation électrique des conduites.....	40
5	Carbonate de cuivre	41
6	Vieillessement des matières synthétiques	42
6.1	Comportement au fluage des tuyaux en matière synthétique.....	42
6.2	Aspect des dommages	43
7	Endroits où se manifeste la corrosion	44
7.1	Corrosion extérieure.....	44
7.1.1	Plafonds et murs	44
7.1.2	Isolations thermiques	45
7.2	Corrosion intérieure	45
7.2.1	Corrosion dans des conduites de chauffage.....	45
8	Protection contre la corrosion	46
8.1	Protection active contre la corrosion.....	46
8.1.1	Traitement de l'eau de boisson	46
8.1.2	Préserver la propreté des installations d'eau de boisson	46
8.1.3	Protection cathodique contre la corrosion	47
8.1.4	Anode de protection.....	48
8.1.5	Anode à courant vagabond	48
8.2	Protection passive contre la corrosion	49
8.2.1	Aciers inoxydables.....	49
8.2.2	Revêtements de protection.....	50
8.3	Protection contre la corrosion par des éléments de construction.....	51
8.3.1	Choix des matériaux.....	51
8.3.2	Installations mixtes	52
9	Matériaux.....	57
9.1	Métaux.....	57
9.1.1	Acier au carbone	57
9.1.2	Acier inoxydable.....	57
9.1.3	Alliages de cuivre (bronze et laiton)	58
9.2	Matières synthétiques	60

9.3	Elastomères.....	61
9.4	Matériaux cellulaires	61
9.5	Matériaux composites	62
9.6	Céramiques techniques	62
	Lexique.....	63
	Bibliographie.....	65

1 Introduction

La durée de vie et le fonctionnement fiable d'une installation d'eau de boisson dépendent largement de sa résistance à la corrosion. Les mesures appropriées pour la protection contre la corrosion sont fonction de paramètres liés à la construction et à ses propriétés:

- Matériaux et fluides (produits)
- Conditions environnementales (température, humidité)
- Phénomènes électriques (courants de fuite)
- Comportement des utilisateurs

Le présent document est destiné à la formation et à la communication en cas de sinistre. On y trouve définies des notions importantes relatives à la corrosion, en référence à la norme DIN EN 8044. Le document décrit en outre les processus de corrosion et de vieillissement des installations sanitaires. Il présente aussi des mesures spécifiques pour la protection contre la corrosion et les diverses possibilités qui s'offrent pour le choix des matériaux.

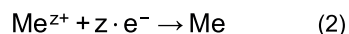
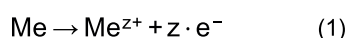
2 Les bases de la corrosion

2.1 Formation d'un potentiel

Le potentiel est une propriété des métaux telle que la dureté ou la conductibilité électrique. Cela s'entend toujours en rapport avec une solution aqueuse dans laquelle se trouve le métal.

Lorsqu'un métal est plongé dans une solution aqueuse, il existe des états de déséquilibre thermodynamique entre le métal et la solution aqueuse, ce qui s'explique notamment par des différences de concentration de matières dans les deux phases. Ces états de déséquilibre se traduisent par des interactions caractérisées par des ions et électrons en mouvement. On assiste alors à la migration d'ions depuis le métal vers la solution aqueuse, et vice versa. Ces mouvements transitoires sont des réactions électrochimiques qui se poursuivent jusqu'à ce que s'installe un équilibre thermodynamique. Comme les ions sont des porteurs de charge, on assiste à des changements de potentiel. De ce fait, ce sont les ions, à savoir leur nombre et leur charge électrique, qui déterminent le potentiel d'un métal.

Les deux réactions peuvent être représentées par les formules de réaction suivantes:



Symbole	Unité	Description
Me	—	Métal, dans son état atomique
Me ^{z+}		Ion métallique, valeur z (unité de charge positive)
z		Nombre d'électrons
e ⁻		Electron (unité de charge négative)

La formule de réaction (1) décrit la dissolution du métal. Les ions circulent du métal vers la solution aqueuse. On désigne cette opération aussi par pression de mise en solution. On parle aussi de processus anodique ou de réaction anodique.

La formule de réaction (2) décrit le dépôt de métal. Les ions circulent de la solution aqueuse vers le métal. On désigne cette opération aussi par pression osmotique. On parle aussi de processus cathodique ou de réaction cathodique.

Les deux réactions se déroulent simultanément durant l'immersion d'un métal, toutefois souvent à des vitesses différentes. Lorsque la réaction (1) se déroule plus rapidement que la réaction (2), le métal est chargé négativement au début des réactions en raison de l'accumulation d'électrons. Les métaux qui réagissent ainsi sont dits **non-nobles**. Dans le cas inverse, le métal est chargé positivement en raison de la plus grande vitesse de dépôt. Ces métaux sont dits **nobles**.

Sur les couches de la limite de phases métal/solution se crée donc une différence de potentiel comparable avec celle entre les plaques d'un condensateur. Cette tension électrique est dite potentiel Galvani et ne peut pas être mesurée.

2.2 Mesure du potentiel

Le potentiel d'un métal ne peut être mesuré que par rapport au potentiel d'un deuxième métal. Autrement dit, on mesure la différence des deux potentiels Galvani. Cette différence de tension est dite potentiel d'électrode*.

L'illustration suivante montre le dispositif de mesure du potentiel d'électrode entre l'électrode d'essai et une électrode de référence. En présence de différences de potentiel Galvani de l'électrode d'essai et de l'électrode de référence, le dispositif de mesure de tension indique une tension.

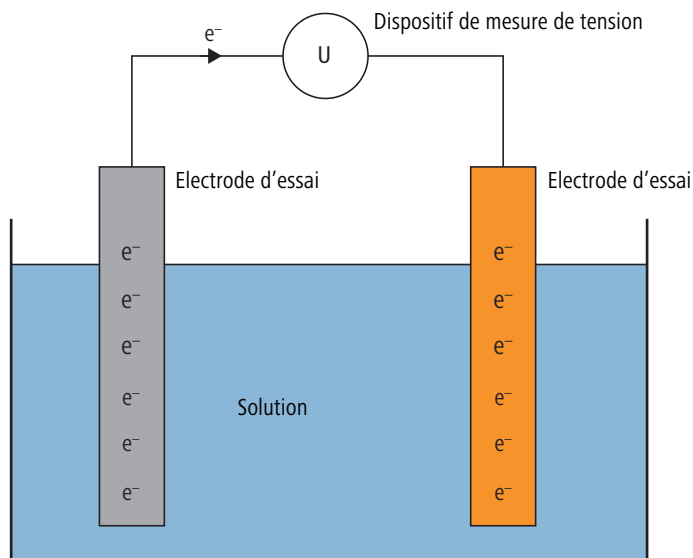


Fig. 1: Principe de mesure des potentiels d'électrodes

Pour mesurer les potentiels d'électrodes de divers métaux à des fins de comparaison, il faudrait connaître le potentiel Galvani de chaque métal. Le potentiel Galvani n'est toutefois ni mesurable ni calculable. C'est pourquoi le potentiel d'électrode d'hydrogène a été défini avec la valeur arbitraire de 0 volt comme potentiel standard (ou potentiel normal), la température de la solution étant de 25 °C et la concentration de 1 mol/litre. En s'appuyant sur ce potentiel standard ainsi défini, il est possible de comparer entre eux divers métaux.

Pour des raisons pratiques, on n'utilise pas l'hydrogène comme électrode de référence, mais une autre électrode, p. ex. l'électrode au calomel. L'électrode au calomel présente un potentiel d'électrode de 0.25 volt par rapport au potentiel standard de l'hydrogène.

* La désignation de potentiel d'électrode est à proprement parler incorrecte puisqu'il s'agit d'une différence de potentiel, et donc d'une tension.

2.3 Equation de Nernst

Pour comparer le potentiel d'électrode de différents métaux entre eux, il faut tenir compte non seulement de l'électrode de référence mais aussi de la solution aqueuse (électrolyte). Il suffit en effet d'expériences très simples pour constater qu'un métal réagit différemment dans des solutions de composition chimique identique mais aux concentrations de matières différentes.

Le rapport entre le potentiel d'électrode d'un métal et la concentration des ions formateurs de potentiel est exprimé par l'équation de Nernst:

$$U_{H,Me} = U_{H,Me,N} + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \frac{c_{Ox}}{c_{Red}}$$

Symbole	Unité	Description
$U_{H,Me}$	V	Potentiel d'électrode du métal Me
$U_{H,Me,N}$	V	Potentiel normal du métal Me par rapport à l'électrode normale à hydrogène
R	J/(mol·K)	Constante de gaz 8.31447
z	—	Nombre d'électrons
F	J/(V·mol)	Constante de Faraday 96485
c_{Ox}	mol/l	Concentration de matières de l'oxydant
c_{Red}	mol/l	Concentration de matières du réducteur

L'équation montre que le potentiel d'électrode s'accroît lorsque:

- la concentration de matières de l'oxydant dans la solution est augmentée,
- et que la température de la solution est augmentée.

Comme solution, on peut par exemple utiliser de l'acide chlorhydrique (HCl). Un acide chlorhydrique de forte concentration contient une concentration en oxydant plus élevée H_2 . Le potentiel d'électrode du métal se trouvant dans l'acide chlorhydrique augmente, de même que sa réaction. C'est aussi le cas lorsque la température de l'acide chlorhydrique est augmentée.

L'équation suivante est une forme simplifiée de l'équation de Nernst. On peut l'appliquer uniquement pour une température de solution de 25 °C et pour des solutions diluées, que l'on rencontre souvent en présence de corrosion:

$$U_{H,Me} = U_{H,Me,N} + \frac{0.0591}{z} \cdot \log c_{Me}$$

Symbole	Unité	Description
$U_{H,Me}$	V	Potentiel d'électrode du métal Me
$U_{H,Me,N}$	V	Potentiel normal du métal Me par rapport à l'électrode normale à hydrogène
z	—	Nombre d'électrons
c_{Me}	mol/l	Concentration de matières des ions métalliques (logarithme décimal)

Lorsque l'on utilise la concentration de matières c_{Me} de 1 mol/l dans l'équation simplifiée de Nernst, la partie logarithmique de l'équation est égale à zéro ($\log 1 = 0$). On obtient l'équation suivante:

$$U_{H,Me} = U_{H,Me,N}$$

L'équation exprime que le potentiel d'électrode d'un métal est égal à son potentiel normal lorsque le métal est plongé dans une solution de concentration de matières de ses ions métalliques de 1 mol/l. L'équation définit le potentiel normal et constitue ainsi une base pour la création de séries de potentiels électrochimiques.

2.4 Série de potentiels électrochimiques

Les séries de potentiels électrochimiques servent à comparer les potentiels de métaux. Dans de nombreuses séries électrochimiques, on utilise le potentiel normal comme grandeur de comparaison et l'électrode normale à hydrogène comme électrode de référence. Des mesures permettent cependant de créer également d'autres séries de potentiels électrochimiques.

La représentation suivante montre les potentiels normaux de plusieurs éléments par rapport à l'électrode normale à hydrogène.

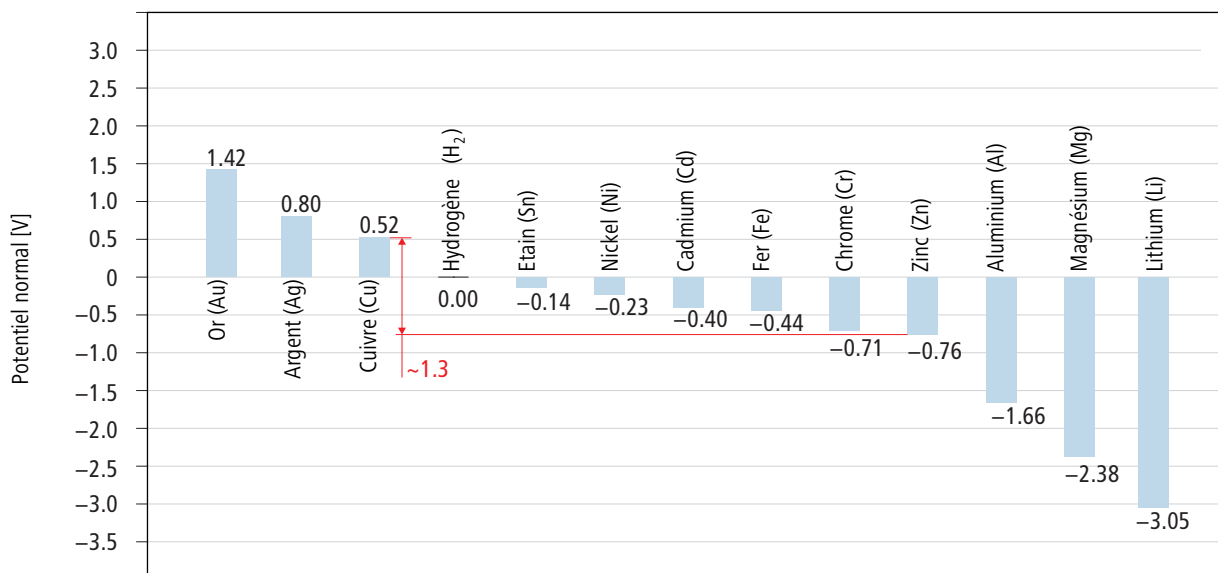


Fig. 2: Série de potentiels électrochimiques (selon le manuel de formation sur la corrosion métallique, K. Müller)

Pour déterminer la différence de potentiel de deux matériaux qui forment ensemble un élément galvanique, on calcule la différence de leurs potentiels. C'est ainsi par exemple que d'après la représentation ci-dessus, la différence de potentiel entre une électrode de cuivre et une électrode de zinc est d'environ 1.3 volt.

Le tableau suivant montre les potentiels de matériaux souvent utilisés dans la technique d'installation, les mesures portant sur les potentiels des métaux dans l'eau de boisson par rapport à une électrode à sulfate de cuivre.

Matériau	Potentiel E* [V]
Cuivre	-0.10
Acier anticorrosion	-0.10
Bronze et bronze au silicium	-0.20
Laiton	-0.35
Fer	-0.55**/-0.75***
Acier galvanisé	-0.75
* dans de l'eau de boisson par rapport à une électrode à sulfate de cuivre	
** eau de boisson aérée	
*** eau de boisson stagnante	

Tab. 1: Série de potentiels électrochimiques (selon la notice suissetec W10018)

2.5 Éléments galvaniques

Une différence de potentiel peut être mesurée entre deux électrodes de potentiel différent plongées dans un électrolyte. Cette tension induit un courant dans un circuit électrique fermé. Une telle disposition est dite élément galvanique, cellule galvanique ou tout simplement élément.

Dans l'histoire de l'électrochimie, l'élément Daniell occupe une place importante puisqu'il est à l'origine historique de la définition actuelle de l'unité pour la tension électrique. L'élément Daniell est constitué d'une électrode en cuivre et d'une électrode en zinc. L'électrode en cuivre est plongée dans une solution de sulfate de cuivre, l'électrode en zinc dans une solution de sulfate de zinc. Les deux solutions se trouvent dans des récipients séparés pour empêcher tout mélange. Le pont salin permet le passage d'ions et donc la circulation du courant.

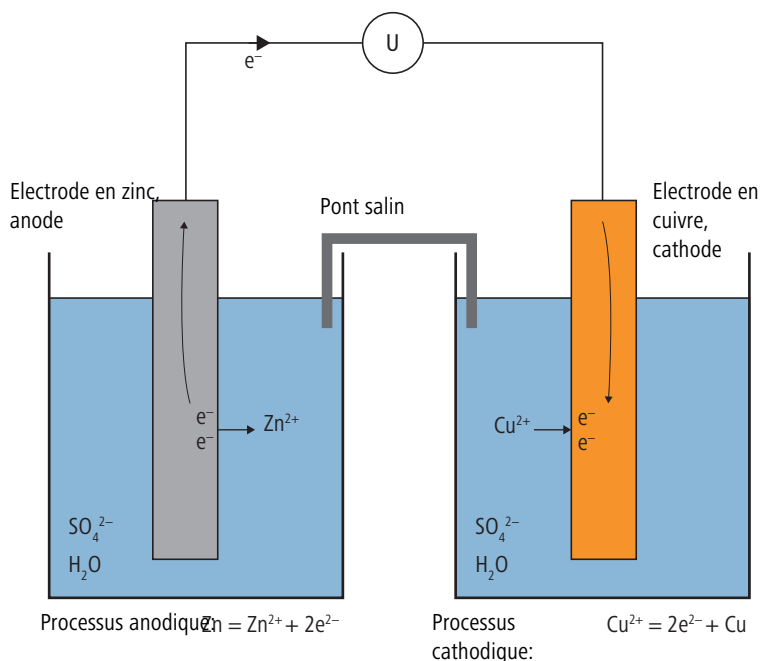


Fig. 3: Élément Daniell comme exemple d'un élément galvanique

Le zinc passe en solution sur l'électrode en zinc. Les électrons ainsi libérés circulent comme courant électrique jusqu'à l'électrode en cuivre, où se forme un dépôt de cuivre. Le courant circule jusqu'à ce que l'électrode en zinc soit complètement dissoute.

Le calcul du potentiel de l'élément Daniell à l'aide de l'équation Nernst donne comme valeur 1.1 volt.

2.6 Courant de corrosion et règles des surfaces

Le courant de corrosion est déterminé par la différence de potentiel électrochimique et d'autres paramètres:

- Composition et propriétés de l'électrolyte, p. ex. conductibilité, valeur pH, teneur en oxygène, teneur en sels et température.
- Environnement tel qu'humidité de l'air, présence dans l'air de substances agressives et corrosives.
- Présence éventuelle de couches passives ou de revêtements.

La densité du courant de corrosion détermine la vitesse de corrosion. Une densité élevée du courant de corrosion accélère la corrosion du métal non-noble. Plus la surface du métal non-noble est petite par rapport à la surface du métal noble, plus la densité du courant de corrosion est élevée. Ceci est exprimé par la formule suivante:

$$I_{Me} = -I_{Ox} \cdot \frac{A_K}{A_A}$$

Symbole	Unité	Description
I_{Me}	[A]	Courant anodique
I_{Ox}	[A]	Courant cathodique
A_K	[m ²]	Surface cathodique
A_A	[m ²]	Surface anodique

La vitesse de corrosion est proportionnelle au courant anodique, c.-à-d. que plus le courant anodique est important, plus la vitesse de corrosion est élevée. Dans la formule, le signe moins est attribuable au fait que la valeur du courant anodique est identique à celle du courant cathodique et que, par rapport à un nœud dans le circuit électrique, ces courants circulent dans le sens inverse (la somme des courants partiels dans un circuit fermé est égale à zéro).

La figure suivante montre une représentation schématique de la règle de surface:

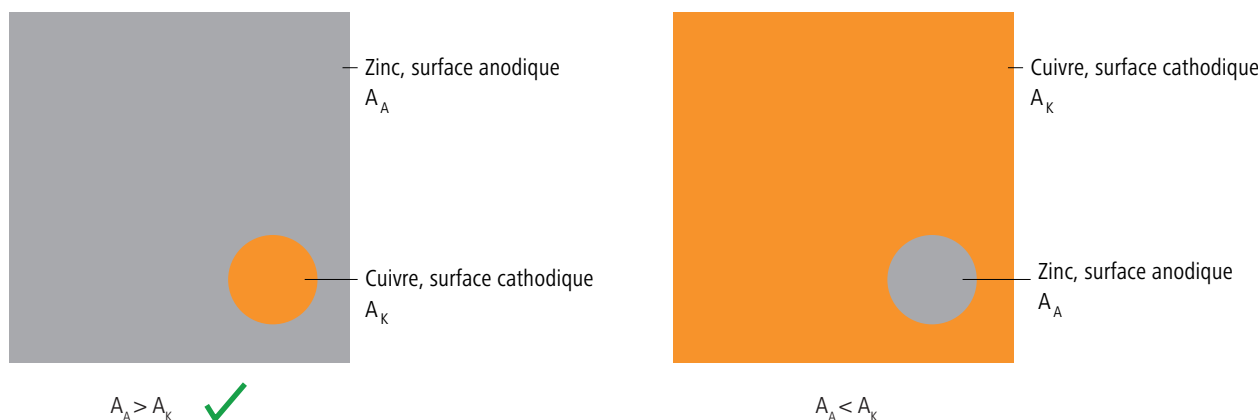


Fig. 4: Représentation schématique de la règle des surfaces. Figure à gauche: rapport de surface avantageux avec petite surface pour la cathode et grande surface pour l'anode, les densités du courant de corrosion étant par conséquent plus faibles. Figure à droite: rapport de surface inverse à la surface anodique relativement petite, ce qui se traduit par des densités de courant de corrosion plus élevées.

2.7 Les catégories de corrosion atmosphérique

La corrosion atmosphérique désigne la désagrégation d'un matériau, qui résulte de l'interaction entre ce matériau et l'atmosphère naturelle environnante, à température ambiante. Selon la norme EN ISO 12944-2, les environnements atmosphériques sont divisés en catégories de corrosivité atmosphérique.

Catégorie de corrosivité	Exemples d'environnements typiques (à titre informatif seulement)	
	Air libre	Intérieur
C1 insignifiant	—	Immeubles chauffés à atmosphère neutre, p. ex. bureaux, locaux de vente, écoles, hôtels
C2 faible	Atmosphère à faible degré de pollution: en général dans des régions rurales	Immeubles non chauffés à condensation possible, p. ex. entrepôts, salles de sport
C3 moyen	Atmosphère urbaine et industrielle à pollution moyenne en dioxyde de soufre; atmosphère côtière faiblement impactée par le sel	Locaux de production à forte hygrométrie et avec un certain taux de pollution, p. ex. usines de transformation d'aliments, blanchisseries, brasseries, laiteries
C4 élevé	Atmosphère industrielle et atmosphère côtière moyennement impactée par le sel	Installations chimiques, piscines, chantiers navals côtiers et ports de plaisance

Tab. 2: Catégories de corrosivité selon EN ISO 12944-2:2017

Le tableau suivant contient une liste des matériaux et revêtements fréquemment utilisés dans la technique sanitaire, avec en regard leur résistance aux atmosphères d'après les catégories de corrosivité selon EN ISO 12944-2:2017.

Catégorie de corrosivité	Matériaux et revêtements		
	Acier galvanisé	Acier inoxydable	Matières synthétiques
C1 insignifiant	✓	✓	✓
C2 faible	Mesure de protection supplémentaire nécessaire, p. ex. revêtement en matière synthétique ou flexible de protection	✓	✓
C3 moyen	Mesure de protection supplémentaire nécessaire, p. ex. revêtement en matière synthétique ou flexible de protection	✓	✓
C4 élevé	Mesure de protection supplémentaire nécessaire, p. ex. revêtement en matière synthétique ou flexible de protection	Mesure de protection supplémentaire nécessaire, p. ex. revêtement en matière synthétique ou flexible de protection	✓

Tab. 3: Résistance des matériaux de tubes aux atmosphères selon la norme EN ISO 12944-2:2017

3 Types de corrosion

Dans toute corrosion électrolytique, le processus anodique correspond toujours à une dissolution du métal (oxydation). Le processus cathodique (réduction) peut par contre être formé par diverses réactions. Le type de corrosion est souvent dénommé d'après la réduction ou l'oxydant.

3.1 Corrosion à haute température

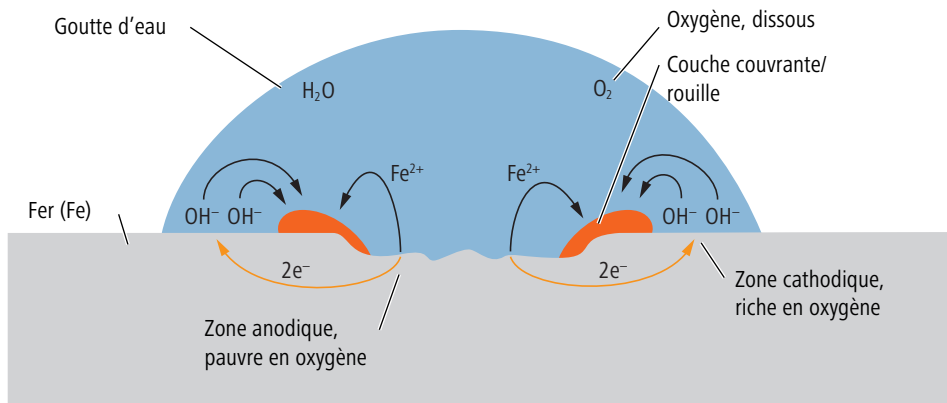
La corrosion des métaux à haute température se produit en association avec des gaz secs, sans l'action d'un électrolyte. Les réactions d'oxydation et de réduction correspondantes se produisent à des températures de 400 °C et supérieures.

Lors de l'oxydation de métaux avec des gaz tels que l'oxygène, il se forme à leurs surfaces des couches d'oxydes métalliques plus ou moins stables. Pour la corrosion à haute température, on peut citer comme exemple le calaminage des surfaces métalliques durant l'usinage du métal.

Comme tous les cas de corrosion sont dûs à l'origine à une action électrochimique, la corrosion à haute température n'est pas traitée plus en détail dans le présent document.

3.2 Corrosion par oxygène

En raison de la présence d'oxygène dans l'air et de son potentiel aux valeurs toujours fortement positives, la corrosion par oxygène est la plus fréquente parmi les types de corrosion. Lors de la corrosion par oxygène, le processus cathodique induit une réduction de l'oxygène en ions oxygène. La corrosion par oxygène se produit déjà à différentes concentrations d'électrolyte qui forment une cellule de concentration, p. ex. dans une goutte d'eau sur une surface en fer.



Processus anodique: $2\text{Fe} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 4 \cdot e^-$

Processus cathodique: $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4 \cdot e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

Formation couche couvrante: $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$

Formation rouille: $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$

Fig. 5: Corrosion par oxygène du fer sous une goutte d'eau

Il s'ensuit que le processus cathodique se déroule en périphérie de la goutte d'eau, là où la concentration d'oxygène est plus élevée. Dans la partie centrale s'opère la dissolution du métal (processus anodique), qui déclenche d'autres réactions se traduisant par la formation de rouille.

La corrosion par oxygène se produit surtout dans des électrolytes neutres ou alcalins à valeur $\text{pH} > 7$. En présence d'électrolytes acides (valeur $\text{pH} < 7$), l'hydrogène prédomine dans l'électrolyte, et la corrosion ne se fait plus par oxygène mais par hydrogène. Tous les métaux dont le potentiel est inférieur à celui de l'oxygène peuvent être attaqués par la corrosion par oxygène.

3.2.1 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages que la corrosion par oxygène a causés dans un tuyau en acier.



Fig. 6: Dommages causés par la corrosion par oxygène à l'intérieur d'un tuyau en acier

3.3 Corrosion par hydrogène

La corrosion par hydrogène survient dans des solutions fortement acides, même en l'absence totale d'oxygène. Ces solutions ont des valeurs pH faibles et présentent par conséquent des concentrations élevées en hydrogène.

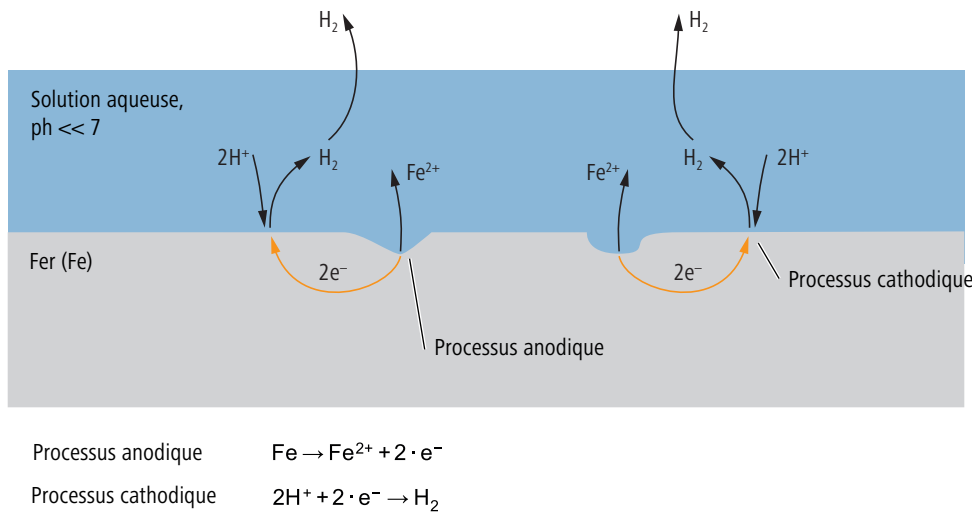


Fig. 7: Corrosion du fer par hydrogène dans une solution aqueuse fortement acide

Lors d'une corrosion par hydrogène, le processus cathodique correspond à une réduction d'ions d'hydrogène H^+ en hydrogène gazeux H_2 . Comme pour tous les types de corrosion, le processus anodique correspond à la dissolution du métal par la libération d'électrons qui se détachent du réseau métallique et par la formation d'ions métalliques. Le processus anodique et cathodique s'opère sur toute la surface métallique, à des endroits et moments différents. Dans le cas d'une corrosion par hydrogène, il n'est pas possible de localiser l'anode et la cathode.

Pour les métaux non-nobles, il a été établi que, dans des solutions aqueuses et fortement acides, ils sont exposés aussi bien à la corrosion par hydrogène que par oxygène. Les métaux nobles par contre ne connaissent que la corrosion par hydrogène dans des solutions aqueuses à faibles valeurs pH. Ceci confirme l'expérience selon laquelle les acides ont une action plus agressive que les solutions alcalines.

3.3.1 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages causés sur un tuyau en acier atteint d'une corrosion par hydrogène avancée, provoquée par de l'acide sulfurique.



Fig. 8: Dommages par corrosion par hydrogène sur un tuyau en acier, provoqués par de l'acide sulfurique

3.4 Corrosion bimétallique

On assiste à une corrosion bimétallique lorsque des métaux à potentiel électrochimique différent forment un élément galvanique court-circuité, le métal le moins noble faisant l'objet d'une attaque corrosive.

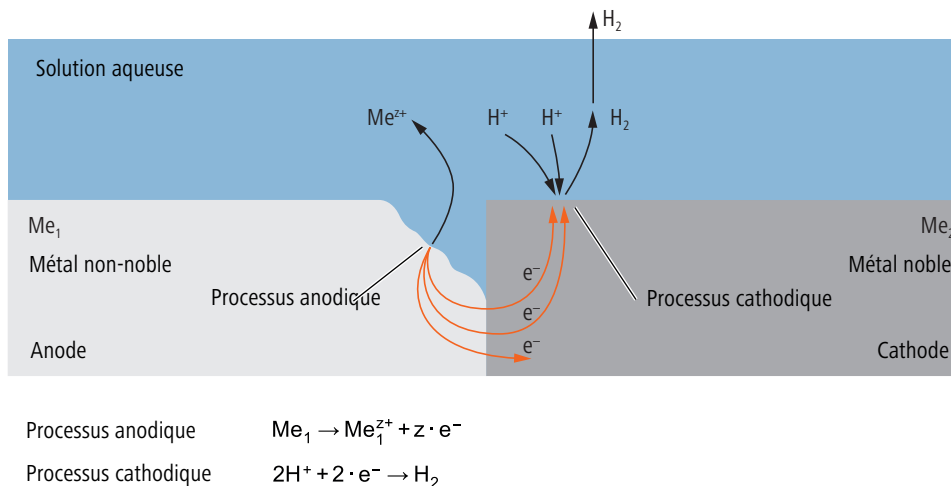


Fig. 9: Corrosion bimétallique

La photo montre comme processus cathodique la réduction par hydrogène, une réduction par oxygène étant cependant aussi possible.

Les paramètres suivants renforcent la corrosion bimétallique:

- Différence de potentiel élevée des métaux
- Conductibilité élevée des métaux et de l'électrolyte
- Conductibilité élevée des surfaces de contact entre les métaux

On peut en déduire des mesures pour réduire la corrosion bimétallique, p. ex. en évitant les installations mixtes ou l'isolation électrique des métaux.

Dans une installation d'eau de boisson se crée un élément de corrosion aux points de contact pour les raisons suivantes: contact métallique d'éléments de conduites de différents matériaux métalliques et de l'eau de boisson et/ou de l'eau de condensation agissant comme électrolyte. On assiste à la circulation d'un courant de corrosion.

3.4.1 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages que la corrosion bimétallique a causés sur une conduite. La corrosion bimétallique a été provoquée par des colliers inadéquats.

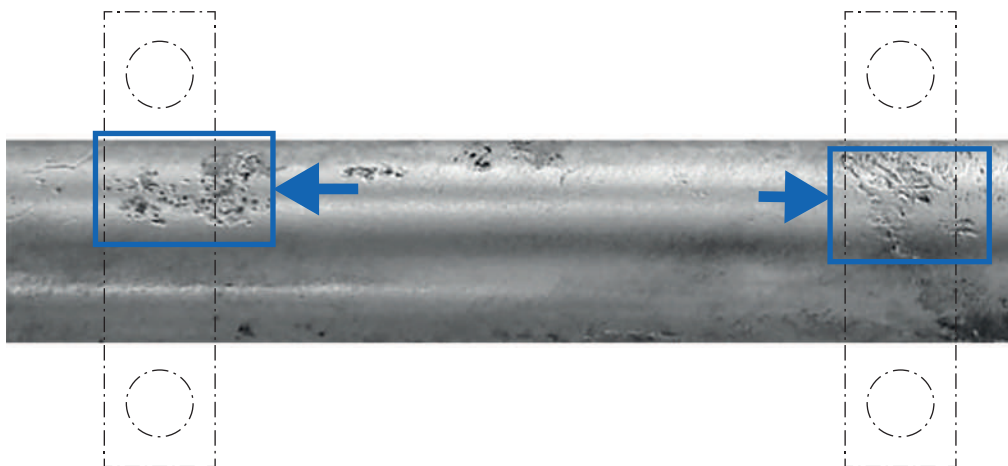


Fig. 10: Dommages par corrosion bimétallique causés sur un tuyau métallique du fait de colliers inadéquats

La photo suivante montre la corrosion bimétallique sur un raccord dans des conditions de laboratoire. Cette corrosion a été provoquée par la combinaison de deux matériaux, à savoir d'un tuyau en acier inox et d'un raccord en acier C. Sur la photo, la corrosion bimétallique n'est pas directement visible. On voit juste les produits de corrosion sous forme de dépôts blanchâtres.

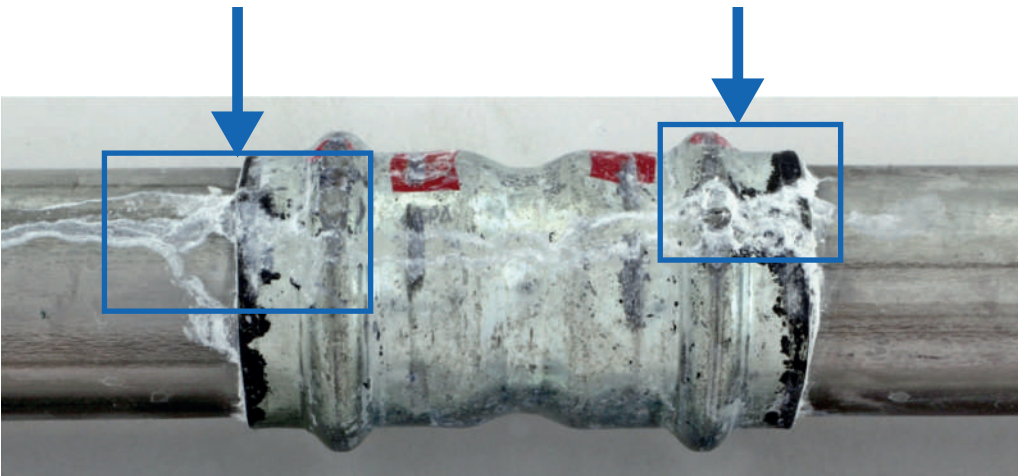


Fig. 11: Corrosion bimétallique sur deux matériaux associés, à savoir un tuyau en acier inox et un raccord en acier C (dans des conditions de laboratoire).

3.4.2 Comment éviter la corrosion bimétallique

Il existe diverses mesures pour éviter la corrosion bimétallique. D'une part en minimisant la différence de potentiel électrochimique des matériaux et, d'autre part, en évitant l'apparition de courants de corrosion.

Les schémas du tableau suivant montrent les diverses mesures permettant d'éviter la corrosion bimétallique:

Photo	Description
	Le courant de corrosion est empêché par un élément d'isolation électrique, p. ex. une douille à collerette 90056 ou une vis de rappel isolante Optipress-Aquaplug 81042.
	Un revêtement ou une couche passive sur une surface métallique empêche le passage du courant de corrosion, p. ex. le bandage d'enroulement 83204 ou l'acier inoxydable comme matériau.
	La construction est constituée de métaux présentant un potentiel électrochimique à peu près identique. Ou alors, on renonce aux installations dites mixtes.
	La construction est réalisée de telle manière qu'un éventuel électrolyte ne puisse entrer en contact qu'avec un seul métal.

Tab. 4: Comment éviter la corrosion bimétallique (source: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, Merkblatt 829)

3.5 Corrosion surfacique

La corrosion surfacique a pour effet d'éroder un élément de construction sur toute sa surface à plus ou moins la même vitesse. Les parties d'une surface touchées par l'érosion par corrosion sont identifiables à une altération de la couleur. La corrosion surfacique peut entraîner une perte de poids importante de l'élément de construction concerné.

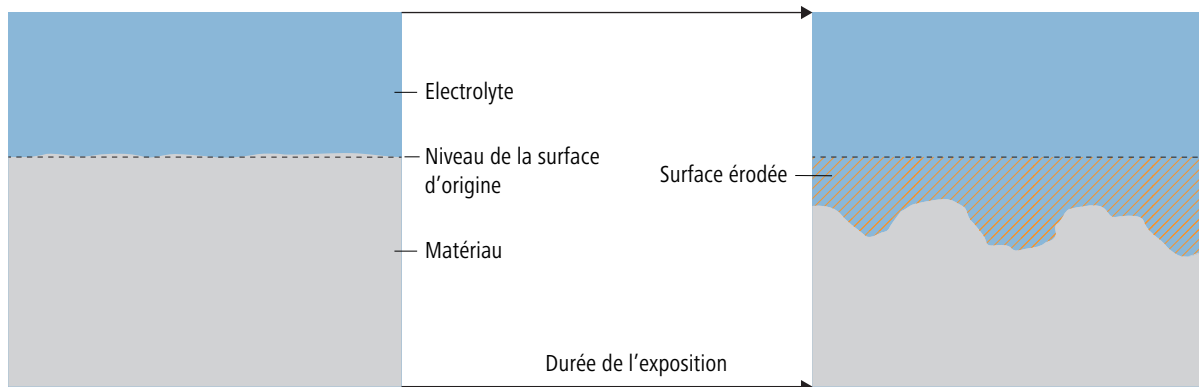


Fig. 12: Corrosion surfacique

3.5.1 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages que la corrosion surfacique a causés à l'intérieur d'un tuyau en acier au carbone. Le tuyau provient d'une installation d'eau de boisson. L'oxygène dans l'eau de boisson a causé une corrosion par oxygène, avec pour conséquence l'érosion de la surface intérieure du tuyau.



Fig. 13: La photo montre les dommages que la corrosion surfacique a causés sur un tuyau en acier au carbone. Photo du haut: vue du tuyau avec les produits de corrosion. Photo du bas: le même tuyau débarrassé des produits de la corrosion.

3.6 Corrosion par piqûres

La corrosion par piqûres est une corrosion locale et souvent très ponctuelle sur un élément de construction. Entre les endroits affectés par la corrosion par piqûres, il peut y avoir des surfaces qui ne sont pas touchées. La corrosion par piqûres peut progresser jusqu'à ce que l'élément de construction ne soit plus fonctionnel, p. ex. en raison d'un trou dans une conduite.

3.6.1 Corrosion par piqûres des aciers anticorrosion (indice PRE)

La corrosion par piqûres des aciers anticorrosion est causée surtout par des composés halogénés (composés de chlore, brome et iode). Les aciers anticorrosion dont l'alliage contient du molybdène ont une résistance accrue à la corrosion par piqûres.

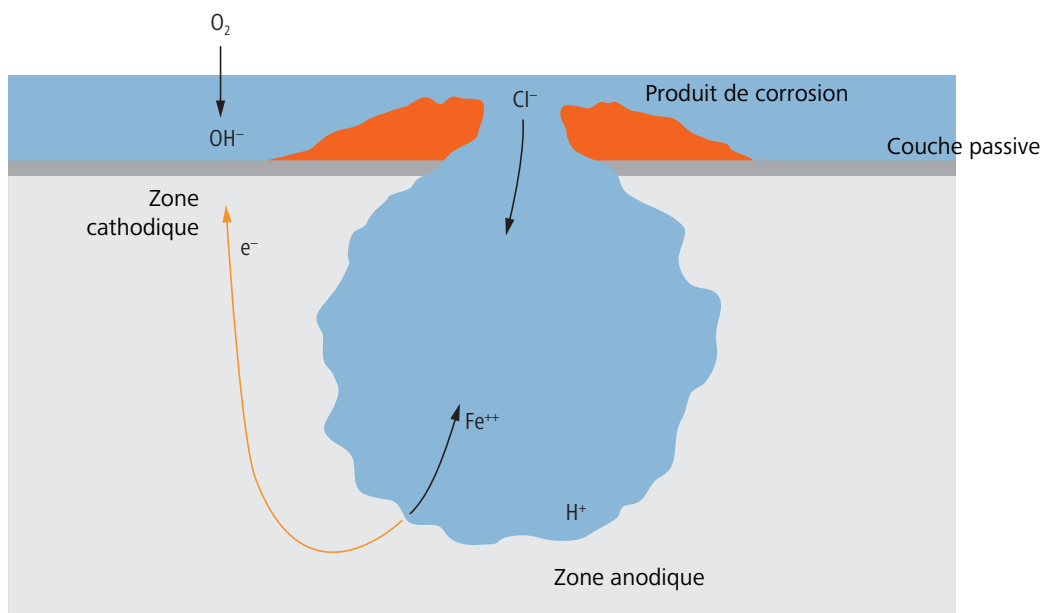


Fig. 14: Corrosion par piqûres d'un acier anticorrosion (image: Boniardi, aciers inoxydables)

Le potentiel de corrosion par piqûres mesure la résistance d'un acier anticorrosion contre la corrosion par piqûres. Ce potentiel est exprimé comme indice ou indice PRE (PRE: pitting resistance equivalent). La présence de molybdène dans l'alliage améliore nettement la résistance à la corrosion par piqûres. L'indice PRE est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$\text{Indice PRE} = \%Cr + 3.3 \times \%Mo$$

Symbole	Unité	Description
Indice PRE	—	Potentiel de corrosion par piqûres
%Cr		Pourcentage de chrome dans l'alliage
%Mo		Pourcentage de molybdène dans l'alliage

Plus l'indice PRE est élevé, plus la résistance contre la corrosion par piqûres est grande. Les types d'acier inoxydable utilisés dans les produits de Nussbaum ont des indices PRE plus élevés que ceux requis dans les normes.

Type d'acier inoxydable	Indice PRE	Indice PRE (valeur normalisée)
1.4521	24.1	23.0
1.4401/04		23.1

Tab. 5: Indices PRE des types d'acier inoxydable de Nussbaum

3.6.2 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages causés par une corrosion par piqûres tellement avancée que la conduite a été percée.



Fig. 15: Dommages par corrosion par piqûres

3.6.3 Comment éviter la corrosion par piqûres

Pour l'isolation thermique de conduites, il faut utiliser des matériaux sans halogène.

L'étanchéité d'assemblages par filetage en acier anticorrosion doit être réalisée par du chanvre sans chlore ou d'autres produits d'étanchéité sans chlore. Les produits d'étanchéité pour filetage en matière synthétique comme le polytétrafluoroéthylène (PTFE) doivent être certifiés par l'organisme DVGW.



Fig. 16: Ruban d'étanchéité pour filetage PTFE sans chlore 83180 certifié par le DVGW

3.7 Corrosion fissurante sous tension

La corrosion fissurante sous tension désigne la fissuration d'une pièce en métal suite à de la corrosion et à son étirement par des tensions de traction.

La corrosion fissurante sous tension de métaux, en particulier d'aciers Cr-Ni austénitiques, est souvent causée par des solutions salines chlorées ou des composés chlorés humides. Les fissures sont souvent fortement ramifiées et courent perpendiculairement à la direction de la tension de traction à laquelle l'élément de construction est soumis. Ce type de corrosion est plutôt rare pour les aciers chromés ferritiques.

La corrosion fissurante sous tension peut apparaître sur des raccords en laiton qui sont entrés en contact avec de l'ammoniac ou de l'ammonium.

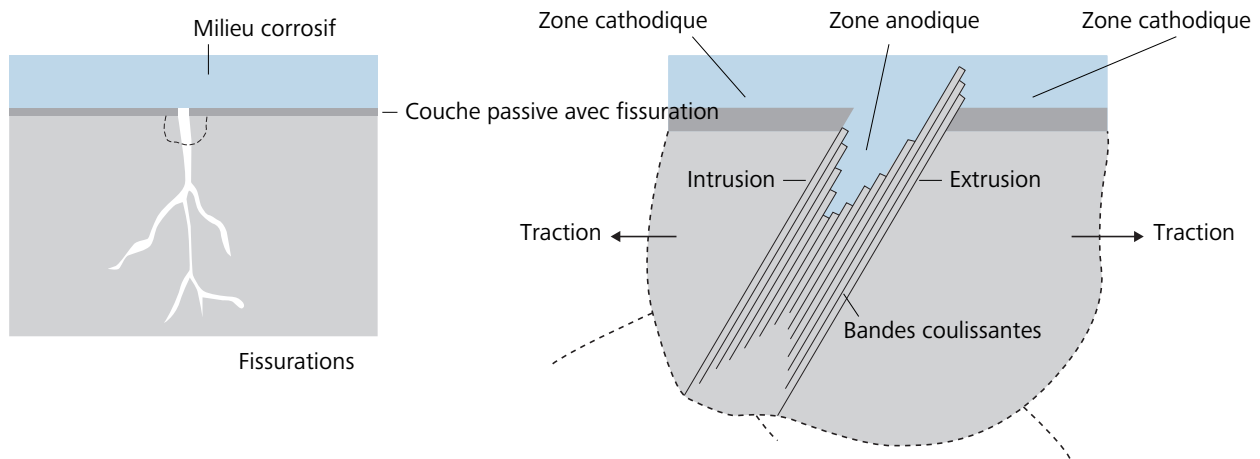


Fig. 17: Corrosion fissurante sous tension

Les forces de traction susceptibles de déclencher une corrosion fissurante sous tension peuvent être présentes dans un élément de construction sous forme de tensions propres consécutives au processus de fabrication et d'usinage. Elles peuvent cependant aussi survenir lorsque le montage a été réalisé de manière conforme ou lors de sollicitations durant le fonctionnement de l'installation. A cet égard, une rallonge de robinet par exemple doit être considérée comme une utilisation critique, car l'expansion provoquée par le vissage se traduit par des tensions de traction. Ce qui est décisif à ce titre, c'est l'ampleur de la déformation pendant le montage ainsi que la dureté de l'élément de construction, qui donnent une indication indirecte de la plasticité. Pour une utilisation critique, le laiton doit être détendu thermiquement. A la sollicitation mécanique vient s'ajouter le fait que la corrosion fissurante sous tension est favorisée par certaines substances corrosives (p. ex. ammoniac, acide sulfurique). Le bronze résiste mieux que le laiton à la corrosion fissurante sous tension.

3.7.1 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages causés sur une douille coulissante par un début de corrosion fissurante sous tension.

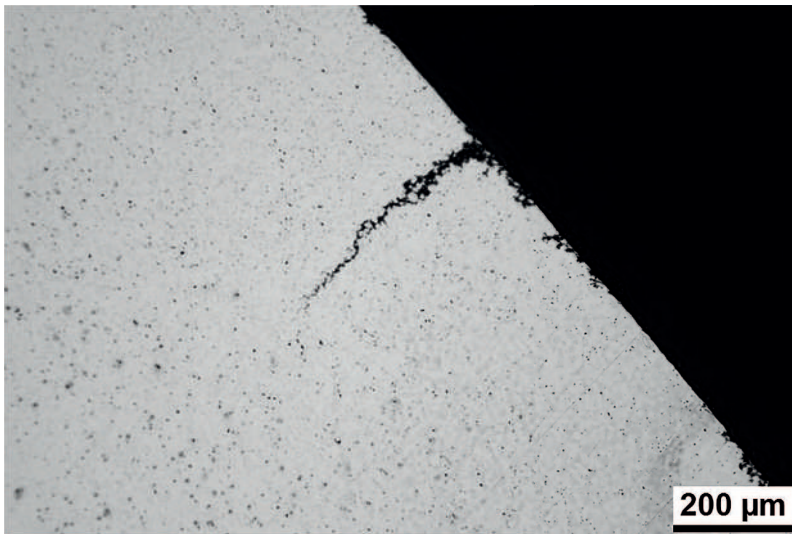


Fig. 18: Dommages que la corrosion fissurante sous tension a causés sur une douille coulissante

La photo ci-dessous des dommages montre que la corrosion fissurante sous tension a abîmé un raccord fileté en laiton de 1¼ × 1 pouce.



Fig. 19: Dommages que la corrosion fissurante sous tension a causés sur un raccord fileté

3.8 Corrosion induite par un flux

Une corrosion induite par un flux désigne un processus résultant d'une interaction entre un fluide en circulation et une surface métallique. Elle revêt deux formes: la corrosion par érosion et la corrosion par cavitation. Comme les deux processus contrarient la formation de couches couvrantes protectrices, le matériau est exposé, ce qui favorise une corrosion sélective. Pour le cuivre et les alliages de cuivre, ce phénomène est particulièrement critique car leur résistance dépend de l'absence de défauts de la structure des couches couvrantes protectrices.

3.8.1 Corrosion par érosion

La norme SN EN 12502-2:2004 décrit la corrosion par érosion comme étant un décapage local de matière, souvent associé à une corrosion chimique.

3.8.1.1 Erosion

Le processus physique de l'érosion dans les systèmes de conduites se présente lorsque l'écoulement de l'eau a une action mécanique sur la surface des conduites et les décape progressivement. Causes fréquentes:

- **Vitesses d'écoulement élevées:** L'écoulement rapide de l'eau peut avoir une action directe sur la paroi des tuyaux et les décaper.
- **Particules abrasives:** Les particules en suspension dans l'eau telles que le sable ou tout autre matériau solide peuvent endommager la paroi intérieure des tuyaux par frottement.
- **Écoulement turbulent:** Tout changement subit de la direction d'écoulement ou tout rétrécissement des conduites peut avoir pour effet d'accélérer le flux et de décaper de la matière.

L'érosion conduit à une perte progressive de matière et donc à une réduction de l'épaisseur de la paroi des tuyaux, ce qui peut en altérer leur résistance structurelle.

3.8.1.2 Conséquences

- La couche couvrante est endommagée ou sa formation est perturbée, p. ex. la couche protectrice d'oxyde et de carbonate sur les surfaces en cuivre.
- La surface métallique débarrassée de sa couche couvrante est exposée à une corrosion chimique plus importante étant donné que l'échange d'ions n'est plus entravé.
- La corrosion chimique se caractérise par des mini-trous caractéristiques en forme de fer à cheval.
- Dans les systèmes d'approvisionnement en eau chaude, la corrosion par l'érosion se produit souvent aux endroits où l'écoulement change brusquement de direction, p. ex. aux arêtes.

3.8.1.3 Pour éviter les phénomènes indésirables

La norme EN 12502-2 contient des recommandations sur les vitesses d'écoulement maximales et sur la conception des conduites. Il s'agit de valeurs indicatives utiles à la planification et à l'exploitation de conduites véhiculant de l'eau.

Valeurs limites pour les vitesses d'écoulement:

- Conduites en cuivre:
 - Temps de soutirage courts: max. 3 m/s
 - Temps de soutirage longs (>15 minutes): max. 2 m/s
 - Dans les systèmes de circulation pour l'approvisionnement en eau chaude: max. 0.5 m/s
- Pour les conduites en alliage de cuivre, les valeurs limites sont les mêmes que pour les conduites en cuivre. Des vitesses d'écoulement supérieures sont cependant possibles lorsque la résistance à la corrosion est plus élevée.
- Conduites en bronze: Dans les systèmes de circulation pour l'approvisionnement en eau chaude: max. 1 m/s, en fonction de la composition de l'eau et de la conception des conduites

Pour éviter les turbulences dans les conduites:

- Pas de changements brusques de section et de direction des conduites.
- Éléments stabilisant le flux, p. ex. tronçon de conduite rectiligne après une pompe de circulation.
- Minimiser le nombre de tuyaux cintrés et de robinets dans le réseau de conduites.

Choix des matériaux:

- Lorsqu'il n'est pas possible de se conformer aux vitesses d'écoulement recommandées par la norme EN 12502-2, il convient d'utiliser plutôt de l'acier inoxydable que du cuivre et des alliages de cuivre. L'acier inoxydable résiste mieux à la corrosion et est plus adapté à des conditions d'écoulement critiques.
- Si la norme EN 12502-2 peut être respectée, il faut choisir des alliages de cuivre qui ont une plus forte résistance à l'érosion. De manière générale, éviter le laiton et utiliser le bronze car il résiste mieux à la corrosion par érosion.

3.8.1.4 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages causés par la corrosion par érosion sur un robinet oblique dans une conduite de circulation. Le blocage mécanique de l'élément de retenue (pas sur la photo) a permis d'accroître les performances de la pompe de circulation afin de maintenir le débit volumique de la conduite de circulation. Conséquences: vitesses d'écoulement élevées au niveau du clapet porte-joint et flux turbulent, ce qui provoque une corrosion par érosion.

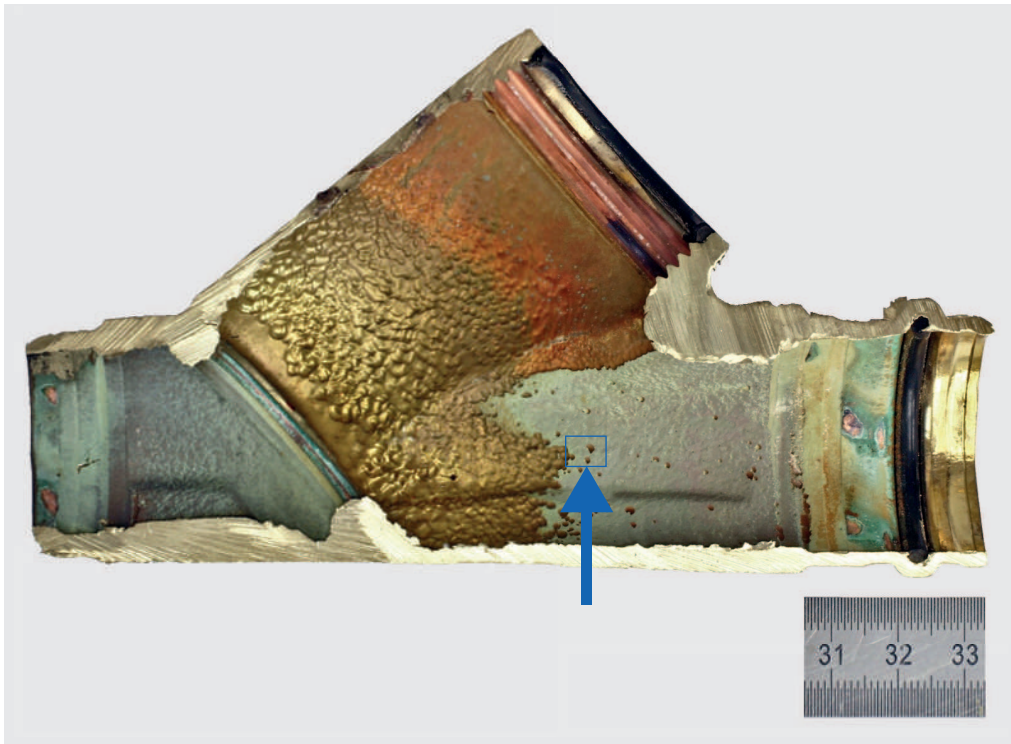


Fig. 20: Dommages causés par la corrosion par érosion



Fig. 21: Détail des dommages causés, avec des dépressions en forme de fer à cheval, caractéristiques de la corrosion par érosion.

3.8.2 Corrosion par cavitation

La corrosion par cavitation est un phénomène de creusement qui abîme la surface d'un métal par une action mécanique, favorisant ainsi une corrosion chimique.

3.8.2.1 Cavitation

Le processus physique de la cavitation est le fait de différences localisées dans la pression d'un liquide, ce qui conduit à la formation de bulles de gaz qui finissent par éclater. La cavitation dans les conduites peut avoir plusieurs origines:

- **Fluctuations dans la pression:** Dans les tronçons aux vitesses d'écoulement élevées ou dans les sections étroites, la pression peut localement connaître une telle chute que l'eau s'évapore en formant des bulles de gaz.
- **Implosion des bulles:** Les bulles implosent lorsqu'elles traversent des tronçons à pression élevée. Les coups de bélier qu'elles provoquent sont susceptibles d'endommager la paroi des conduites.
- **Effet récurrent:** Lorsque l'éclatement de bulles est récurrent, le décapage systématique de la matière peut prendre une telle ampleur que l'on parle d'une érosion par cavitation.

La cavitation cause des dommages locaux caractérisés par des mini-trous ou piqûres dans la paroi des conduites. Ces dommages peuvent s'étendre et, par la suite, altérer la fonction de la conduite.

3.8.2.2 Conséquences

- La corrosion par cavitation est un phénomène typique dans les pompes, robinets ou sections étroites de conduites qui présentent de grosses différences de pression.
- Dommages causés aux matériaux avec bosses évoquant la variole.
- En particulier pour les alliages de cuivre:
 - la couche couvrante, p. ex le carbonate de cuivre basique, est endommagée par la cavitation.
 - Le métal exposé est soumis à une corrosion sélective, en particulier dans les eaux acides et chargées en sulfates.

3.8.2.3 Pour éviter les phénomènes indésirables

Les conditions d'écoulement et la nature de l'eau sont des facteurs critiques pouvant déclencher la corrosion par cavitation:

- Eviter les vitesses d'écoulement trop élevées et les changements de pression brusques, p. ex. sur les pompes et éléments d'étranglement.
- Eviter les eaux saturées en gaz. Les eaux saturées en gaz favorisent la formation de bulles de gaz, p. ex. lors du dégazage incontrôlé des conduites.
- A prendre en compte spécifiquement pour les conduites en cuivre et en alliages de cuivre:
 - Réduire la formation de bulles de gaz par des dispositifs de dégazage.
 - Eviter les chutes de pression par le dimensionnement suffisant des conduites et des pompes.

3.8.2.4 Aspect des dommages

La photo suivante montre la corrosion par cavitation provoquée dans des conditions de laboratoire sur une plaque d'essai en bronze sans plomb. A cet effet, la plaque d'essai et une sonotrode à ultrasons ont été plongées dans un récipient rempli d'eau. La plaque a ensuite été exposée à l'action de la sonotrode à ultrasons pendant un certain temps. Les ultrasons ont provoqué une cavitation sous l'effet d'un décapage visible de matière à la surface de la plaque.



Fig. 22: Corrosion par cavitation sur une plaque d'essai en bronze sans plomb, sous l'action d'une sonotrode à ultrasons



Fig. 23: Vue détaillée du décapage de matière sur la plaque d'essai

La photo suivante montre une **forme mixte** de corrosion par érosion et cavitation sur un réducteur de pression.

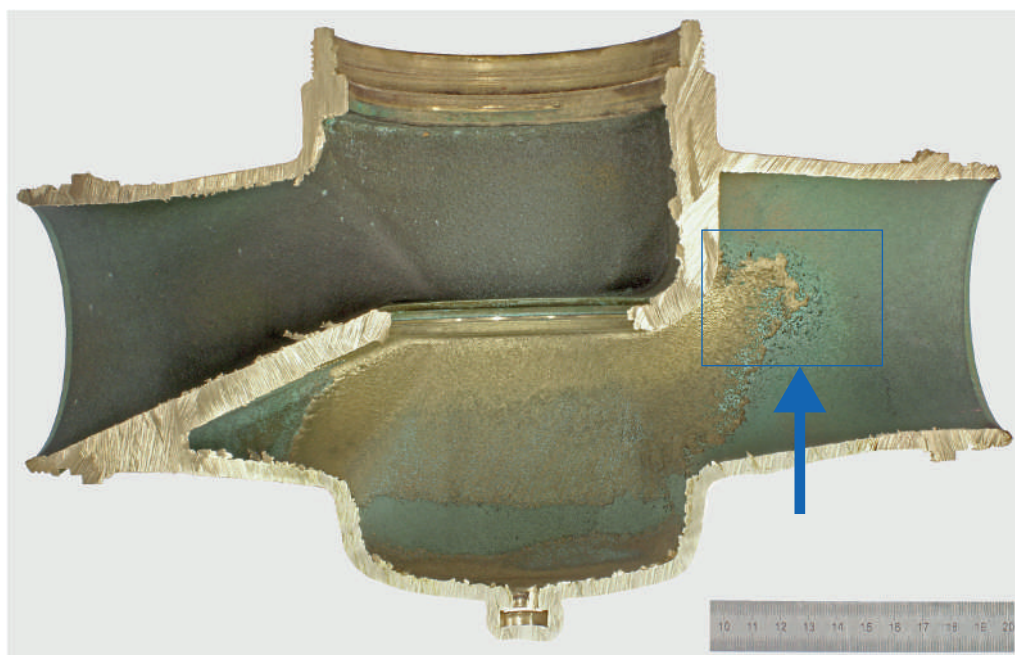


Fig. 24: Dommages causés par une forme mixte de corrosion par érosion et cavitation

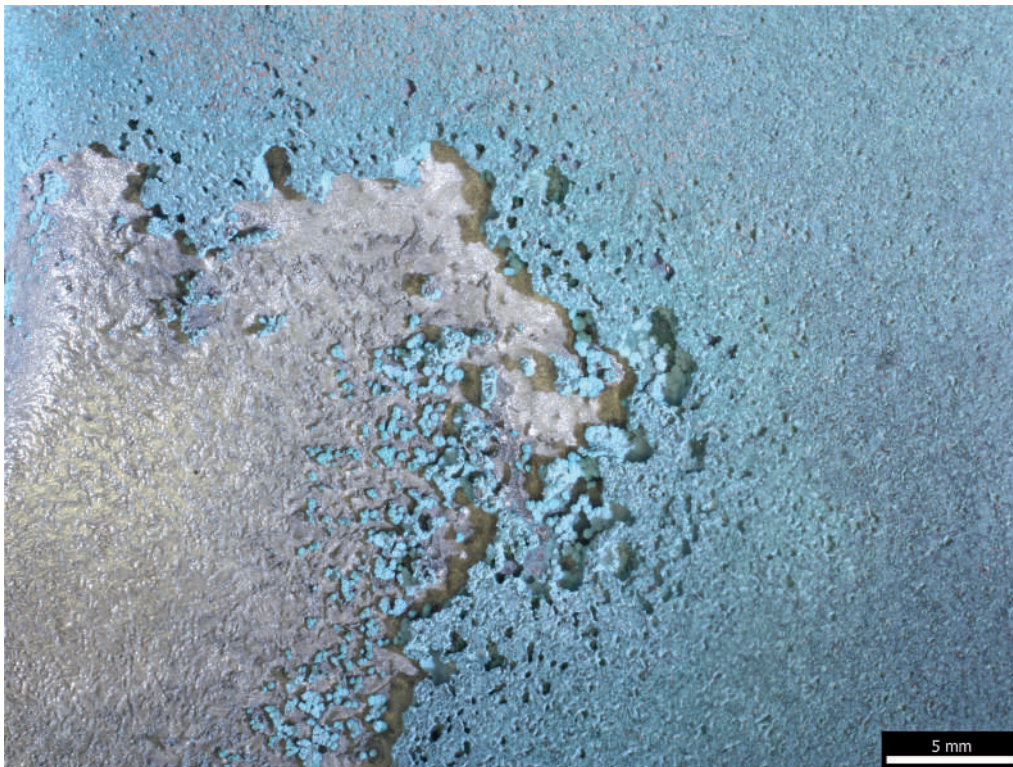


Fig. 25: Vue détaillée des dommages

3.9 Corrosion sélective

La corrosion sélective est la corrosion d'un alliage où ses composants forment un élément de corrosion en raison des différences de potentiels électrochimiques, l'électrolyte correspondant dans de nombreux à de l'eau. Le composant d'alliage le moins noble se corrode le long de la microstructure du matériau. Quant au composant d'alliage le plus noble, il subsiste dans le matériau à l'état poreux. Pour la corrosion sélective, on peut citer comme exemple la dézincification du laiton.

3.9.1 Dézincification

Pour la corrosion sélective, on peut citer comme exemple la dézincification d'éléments de conduites en laiton. Lors de la dézincification, la corrosion fait disparaître le zinc dans le laiton, après quoi il ne subsiste que du cuivre poreux. La présence de croûtes de sel sur l'extérieur de robinetteries en laiton peut être un signe de dézincification, un phénomène qui peut se produire dans les conduites d'eau chaude en particulier.

3.9.2 Diagramme de Turner

La composition de l'eau a une incidence sur la dézincification du laiton. Une dureté élevée de l'eau et une faible teneur en chlore s'opposent à une dézincification. Le rapport entre dézincification, dureté de l'eau et teneur en chlore apparaît dans le diagramme de Turner.

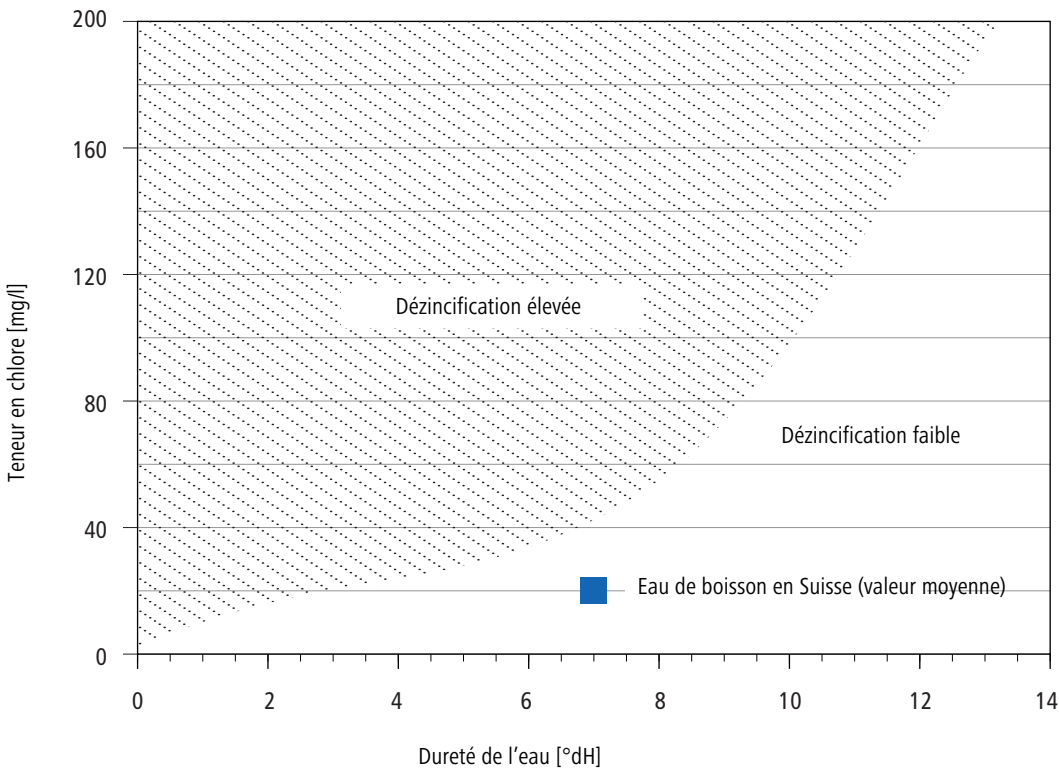


Fig. 26: Diagramme de Turner qui met en évidence la dézincification du laiton

3.9.3 Aspect des dommages

La photo ci-dessous des dommages montre la dézincification sur le filetage d'une tête de robinet. La structure de l'élément de construction a été tellement affaiblie par la perte progressive de zinc que son filetage ne résiste plus au vissage.

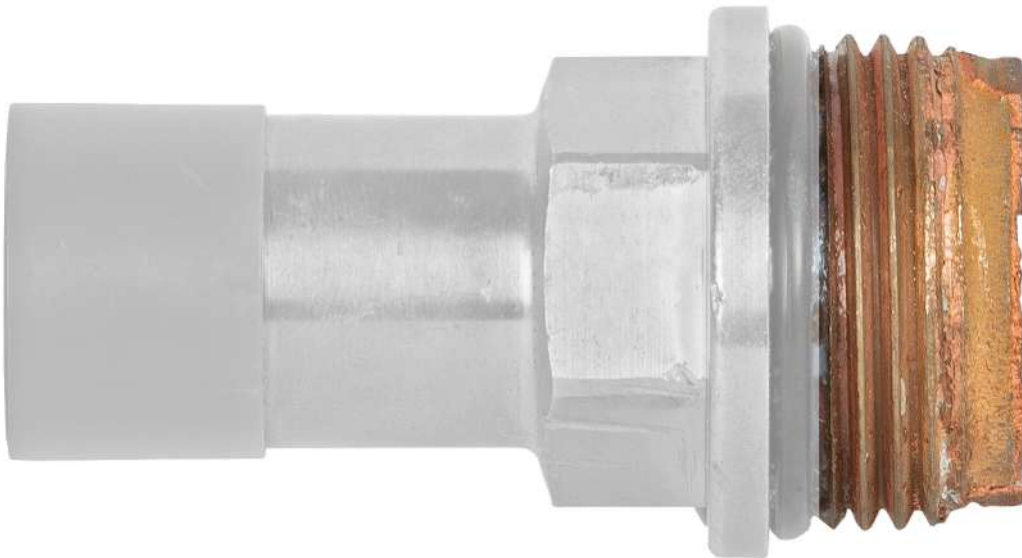


Fig. 27: Dommages par dézincification du filetage d'une tête de robinet

3.10 Corrosion inter cristalline

On désigne par corrosion inter cristalline la corrosion dans ou à côté des joints de grains dans un alliage métallique.

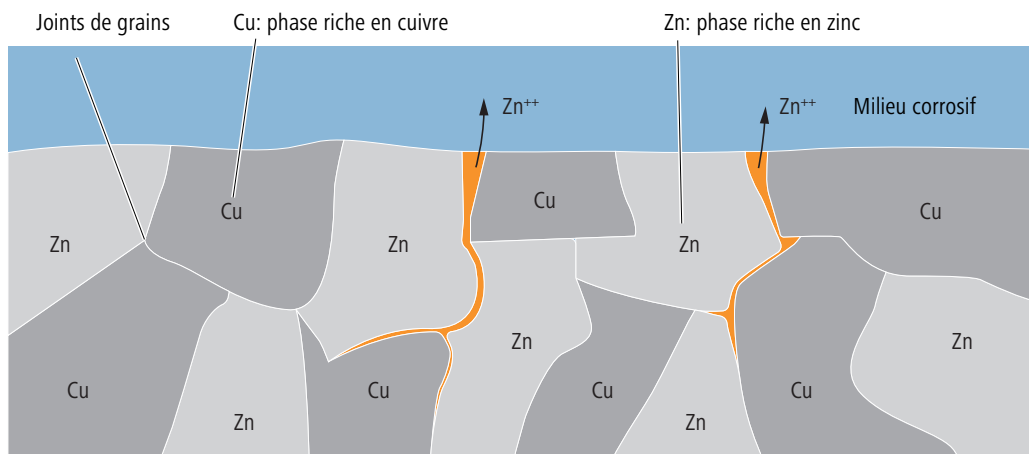


Fig. 28: Corrosion inter cristalline (schéma: Bickle et autres, Technique d'installation)

La corrosion inter cristalline est favorisée par une microstructure à gros grains, une part importante des éléments d'alliage arsenic et phosphore dans le matériau, de même que par des températures élevées. De l'ammoniac dans l'eau et des éléments d'aération peuvent également être à l'origine de la corrosion inter cristalline.

Les alliages en laiton sont exposés à la corrosion inter cristalline lorsqu'il y a des précipitations aux joints de grains. La dézincification du laiton peut être due à une corrosion par piqûres ou à une corrosion inter cristalline.

3.10.1 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre les dommages que la corrosion intercrystalline a causés sur un élément de construction en laiton.

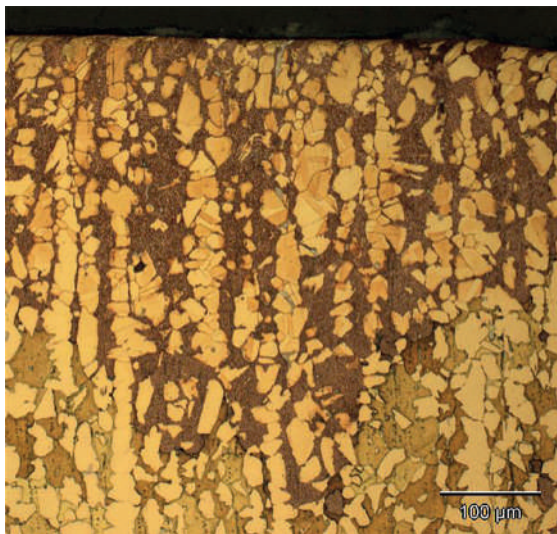


Fig. 29: Dommages causés par la corrosion intercrystalline sur un élément de construction en laiton

Lorsqu'un élément de construction subit des tensions de traction mécaniques auxquelles s'ajoute une corrosion intercrystalline, cela peut causer des fissures de contrainte, comme le montre la photo ci-dessous:

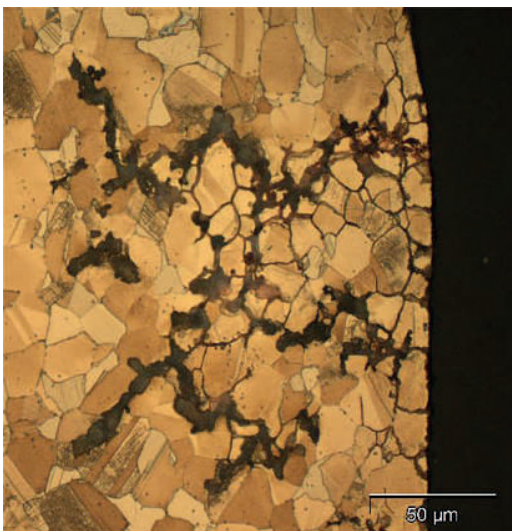


Fig. 30: Dommages causés par la corrosion intercrystalline avec formation de fissures sur un élément de construction en laiton

3.11 Corrosion par courant vagabond

La corrosion par courant vagabond est une corrosion électrochimique due à des courants vagabonds. Les courants vagabonds (dits aussi courants vagabonds) peuvent se manifester lorsque des courants électriques sont dérivés dans le sol par une mise à la terre et s'ils sont détournés par des isolations ou des résistances. Il peut s'agir de courant continu ou alternatif, seul le courant continu pouvant entrer en ligne de compte pour la corrosion.

Lorsqu'un courant continu traverse une pièce métallique située dans un environnement humide, il peut arriver que soit déclenchée une réaction partielle anodique du métal en présence d'oxygène. Il s'ensuit une corrosion de la pièce métallique.

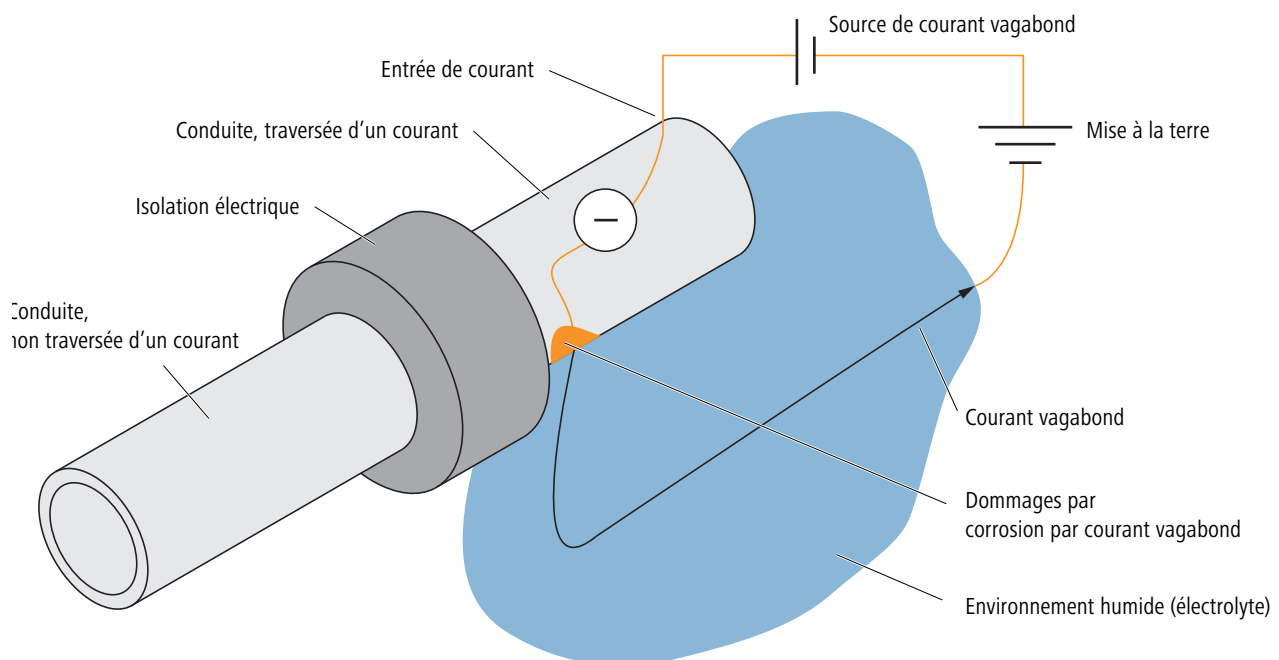


Fig. 31: Principe de la corrosion par courant vagabond (schéma: Blickle, Technique d'installation)

L'isolation électrique dans le schéma sert à montrer la déviation du courant vagabond de la conduite vers un environnement à faible impédance, en sachant qu'il peut y avoir de la corrosion aux sorties.

3.11.1 Comment éviter la corrosion par courant vagabond

La corrosion par courant vagabond sur une installation sanitaire peut être due aux raccordements électriques du bâtiment. Selon le système de réseau et les consommateurs, les courants vagabonds peuvent se manifester dans des conduites, installations de chauffage et de ventilation, dispositifs de protection contre la foudre et éléments de colombage mécaniques. Si en plus de l'humidité entre en jeu, il peut y avoir de la corrosion.

Dans les systèmes de TN, les conducteurs actifs du réseau électrique sont reliés via le point étoile du transformateur avec le potentiel de terre, les consommateurs électriques étant, quant à eux, raccordés de deux manières différentes à ce point:

- Dans le réseau TN-C (terre neutre combiné), cela se fait via le conducteur PEN qui réunit les fonctions du conducteur de protection (PE) et du conducteur neutre (N).
- Dans le réseau TN-S (terre neutre séparé), les conducteurs neutre et de protection sont posés séparément.

Lorsque les deux systèmes de réseau sont réunis, on parle de réseau TN-C-S.

3.11.1.1 Système de réseau TN-C

Le système TN-C possède un conducteur PEN commun pour les connexions entre le coffret de raccordement du bâtiment et les boîtiers de distribution secondaire. Souvent, ce n'est que dans le circuit vers le consommateur qu'il y a un conducteur de protection séparé (PE).

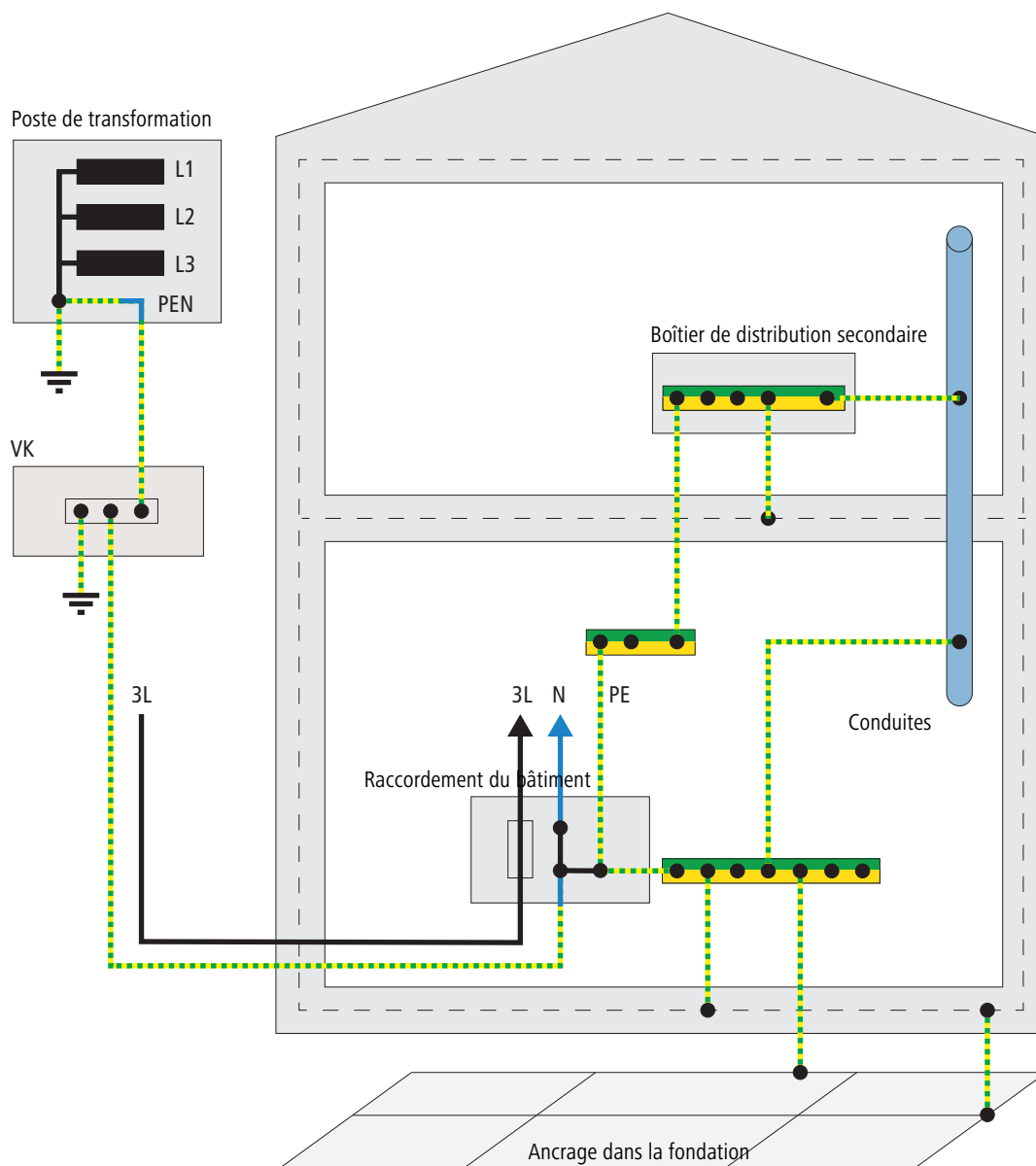


Fig. 32: Système de réseau TN-C

3.11.1.2 Système de réseau TN-S

Le système de réseau TN-S présente, au niveau du raccordement électrique du bâtiment, un embranchement du conducteur PEN en conducteur de protection et conducteur neutre.

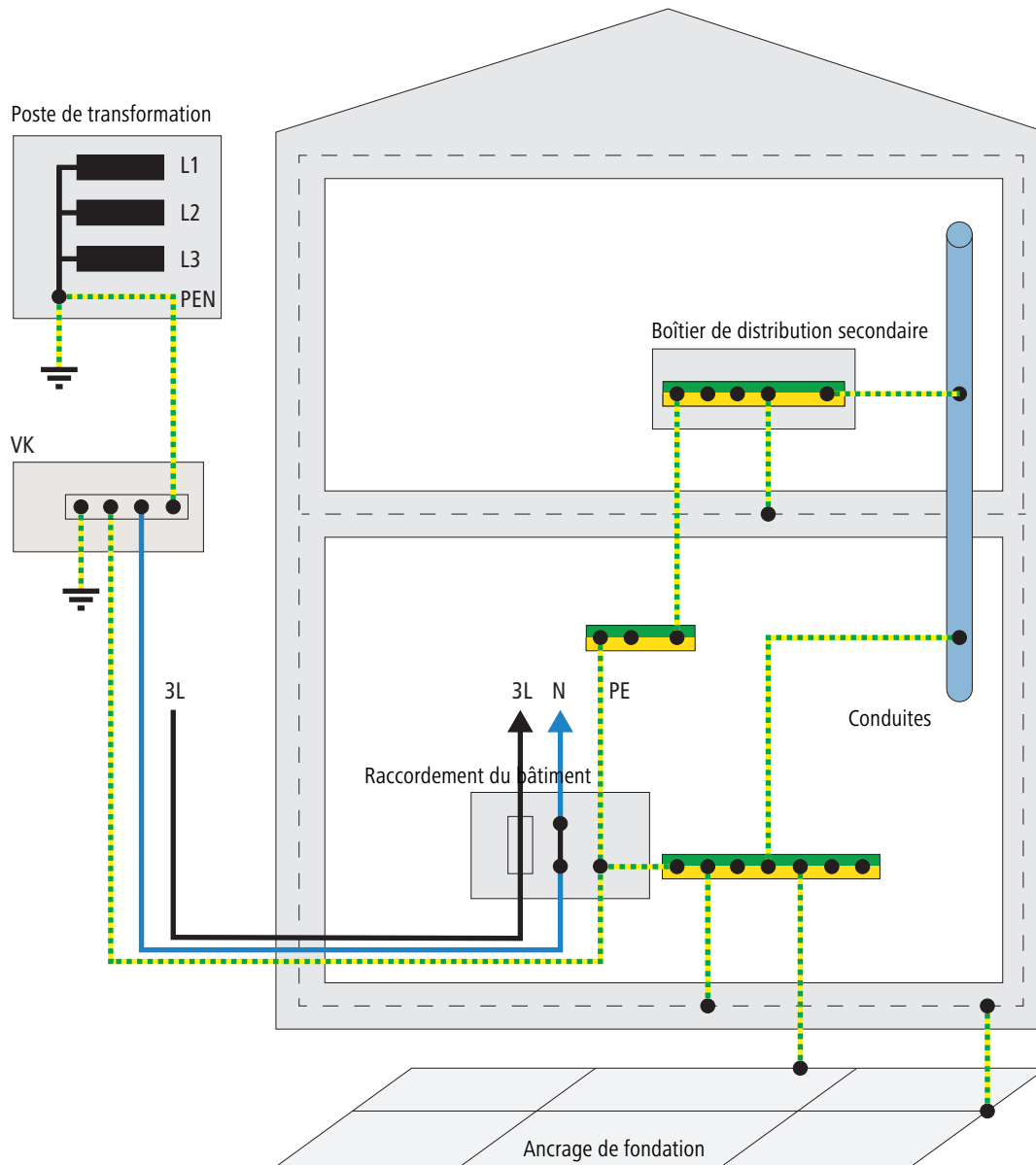


Fig. 33: Système de réseau TN-S

3.11.1.3 Mise à la terre d'installations électriques

Une mise à la terre d'installations électriques dans un bâtiment correspond à un dispositif de protection électrique qui, lors d'un dysfonctionnement, empêche que les parties non conductrices d'électricité soient mises sous tension.

La mise à la terre par le réseau de distribution d'eau de boisson n'est pas recommandée pour les raisons suivantes:

- Les courants vagabonds issus d'installations électriques risquent de traverser le réseau de distribution d'eau de boisson, avec pour conséquence une corrosion par courant vagabond.
- La mise à la terre risque d'être coupée lors du remplacement ou de la réparation de conduites (métalliques).

Dans le cas d'une mise à la terre par les conduites de raccordement d'eau du bâtiment, la source de courant vagabond peut être située très loin du bâtiment. Cela peut rendre très compliquée la localisation de sources de courant vagabond et le blocage de celles-ci. En outre, il faut tenir compte du fait que le nombre de sources de courant vagabond ne fait que croître en raison de la multiplication de l'utilisation d'appareils électriques. Il faut savoir aussi que les consommateurs non linéaires prennent une place toujours plus importante comme source de perturbation.

Alternativement, on peut envisager les mises à la terre suivantes:

- Electrode de terre de fondation
- Rubans de terre
- Piquets de terre
- Autres pièces de construction fichées dans la terre

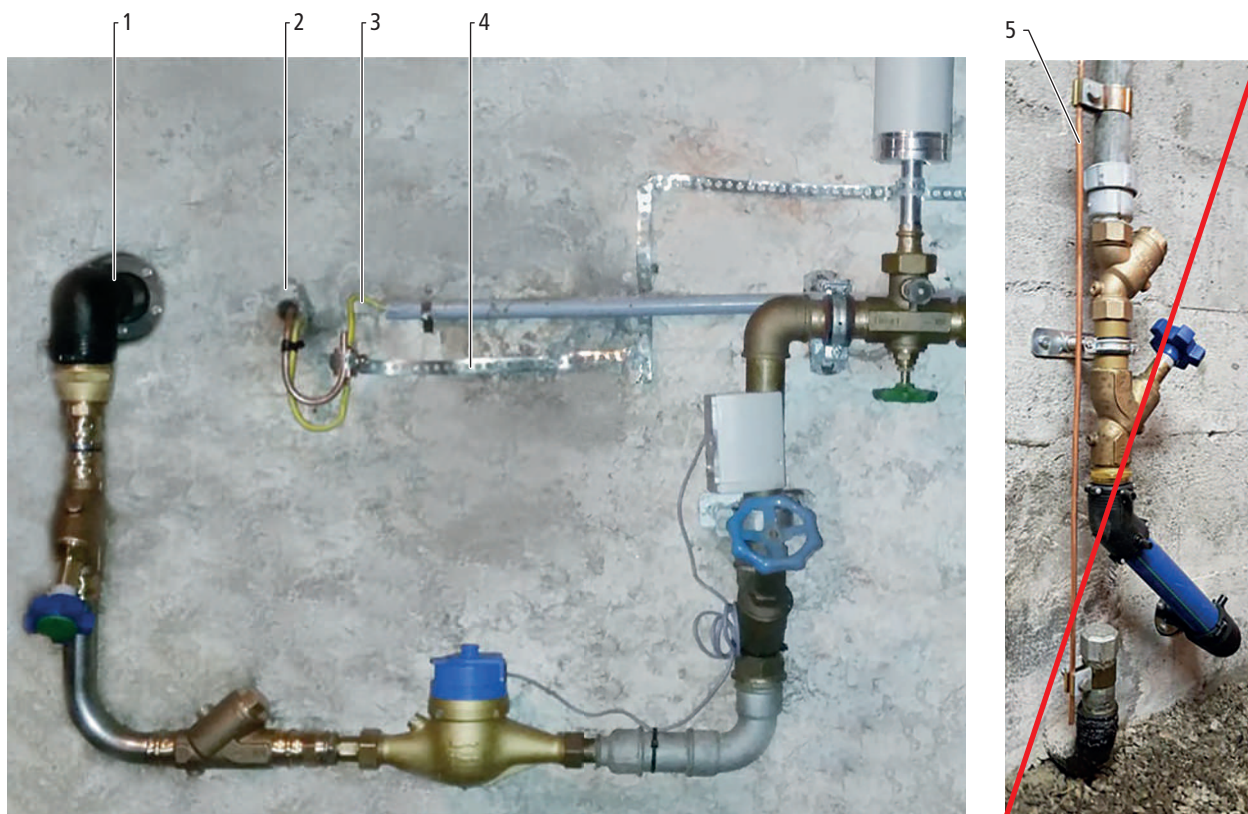


Fig. 34: A gauche: mise à la terre avec électrode de terre de fondation; à droite: mise à la terre inadéquate avec un pontage à fil sur le (ancien) raccordement d'eau (photo: notice technique Suissetec - Mise à la terre par les conduites de raccordement d'eau du bâtiment)

1	Raccordement d'eau du bâtiment
2	Electrode de terre de fondation (fait partie de l'armature du mur)
3	Conducteur de protection d'installations électriques
4	Rubans de terre
5	Câble ou pontage de fil

La mise à la terre d'installations électriques doit être réalisée et contrôlée par des électriciens.

3.12 Biocorrosion (MIC)

La biocorrosion, dite aussi corrosion microbienne (MIC pour microbial influenced corrosion), est un processus microbien qui accélère la corrosion des métaux. Les bactéries sidérophiles et bactéries réductrices de sulfates y jouent un rôle important.

- Les bactéries sidérophiles (IRB pour iron relevant bacteria) sont des microorganismes aérobiques qui se servent des oxydes de fer comme source d'énergie. Les bactéries sidérophiles oxydent le fer bivalent (Fe^{2+}) en fer trivalent (Fe^{3+}), ce qui conduit à la formation de dépôts d'oxydes et d'hydroxydes de fer. Ces dépôts sont susceptibles de couvrir les surfaces en métal et d'en accélérer la corrosion.
- Les bactéries sulfato-réductrices (SRB pour sulfat reducing bacteria) sont des microorganismes anaérobiques qui réduisent les sulfates (SO_4^{2-}) en sulfites (S^{2-}). Les sulfites ainsi formés peuvent réagir avec du fer et former un sulfite de fer, ce qui entraîne la formation d'une couche noire et boueuse sur la surface métallique. Cette couche peut à son tour favoriser la corrosion.

Contrairement à d'autres types de corrosion, la biocorrosion ne dépend pas de la concentration d'oxygène. Les bactéries sulfato-réductrices se multiplient dans des environnements pauvres en oxygène. Les bactéries sidérophiles sont actives en présence d'oxygène. C'est pourquoi la biocorrosion peut se produire aussi bien dans des environnements riches que pauvres en oxygène.

3.12.1 Aspects rencontrés

La biocorrosion peut revêtir divers aspects selon les microorganismes qui interviennent dans sa formation:

- Les bactéries sidérophiles forment des dépôts de couleur rouille ou brune à la surface du métal.
- Les bactéries sulfato-réductrices forment, quant à elles, des dépôts noirs et boueux pouvant dégager une odeur d'œufs pourris (due à la formation d'hydrogène sulfuré).

3.12.2 Biocorrosion dans les installations sprinklers

La biocorrosion peut créer des fuites dans les installations sprinklers et en altérer le fonctionnement. La stagnation de l'eau dans les installations sprinklers favorise la prolifération des microorganismes, surtout sur des installations rarement activées. Les conduites en fer galvanisé sont particulièrement sujettes à la biocorrosion, car la couche de zinc est attaquée par l'activité des bactéries sulfato-réductrices et sidérophiles. L'utilisation d'acier inoxydable dans les installations sprinklers peut réduire considérablement la biocorrosion.

3.12.3 Aspect des dommages

La photo suivante montre les dommages causés par la **biocorrosion due à des bactéries sidérophiles (IRB)** sur la paroi interne d'un tuyau en acier C non galvanisé. Après le démontage du tuyau, la partie à gauche de la ligne bleue a été nettoyée, la partie à droite ayant été laissée en l'état.

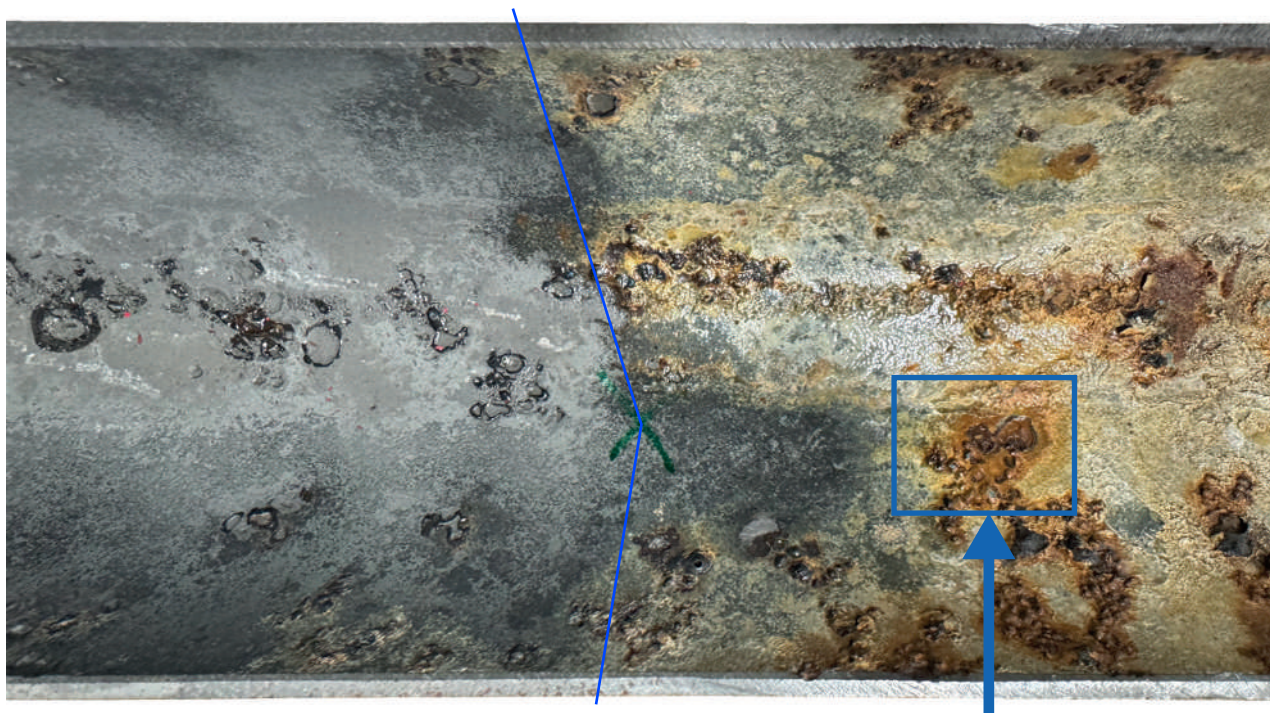


Fig. 35: Dommages par biocorrosion IRB sur la paroi interne d'un tuyau en acier C non galvanisé.

La photo suivante montre les dommages causés par la **biocorrosion due à des bactéries sulfato-réductrices (SRB)** sur un élément d'armoire de commande.

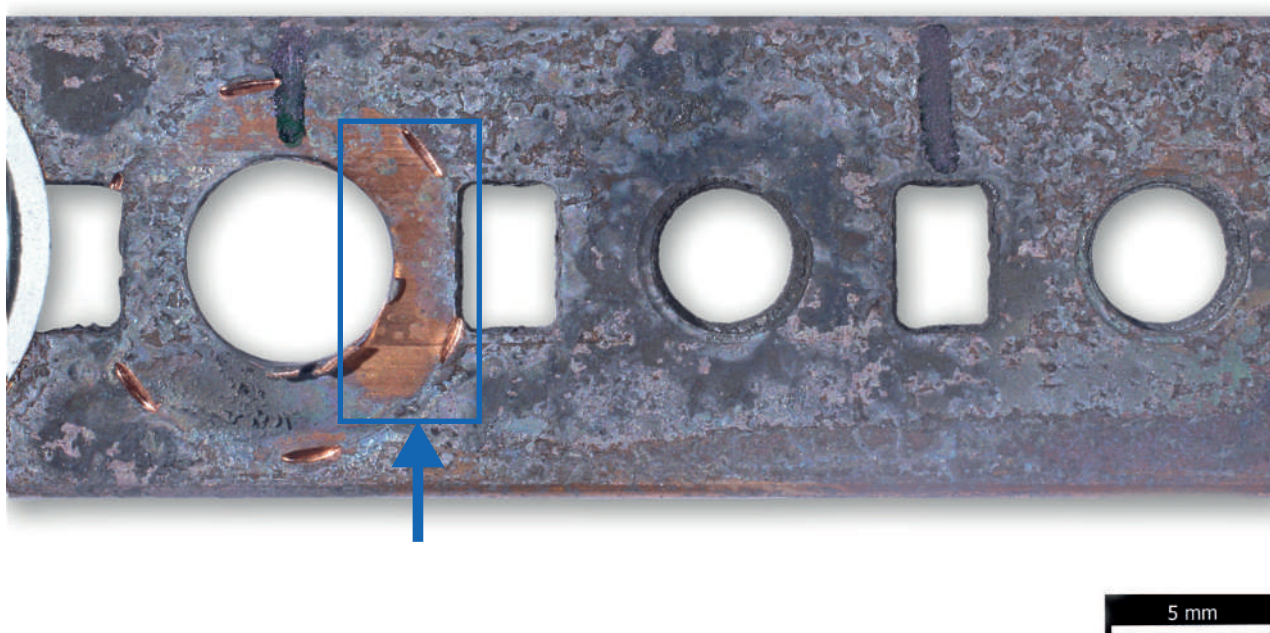


Fig. 36: Dommages par biocorrosion dus à des bactéries sulfato-réductrices (SRB) sur un élément d'armoire de commande

4 Dépôts de calcaire dans les raccords en laiton

L'écoulement dans les conduites peut être freiné par des dépôts de calcaire dans des raccords. Les raisons en sont des différences de température, des points de cristallisation sur les surfaces d'éléments de construction, la formation d'éléments ou des courants externes de dispositifs de protection cathodiques. Ces dépôts de calcaire (on parle aussi de tartre) ne provoquent pas de corrosion. La surface métallique sous les dépôts de calcaire reste pratiquement inchangée.

Les dépôts de calcaire freinant l'écoulement peuvent se déposer surtout dans les raccords en laiton montés au niveau des raccordements d'accumulateurs d'eau chaude. La raison en sont des courants continus qui ont pour origine p. ex. l'anode à courant externe du ballon d'eau chaude. L'épaisseur des dépôts de calcaire dans les raccords en laiton dépend de la qualité de l'eau (teneur en calcaire et gaz carbonique, valeur ph, concentration d'ions de cuivre).

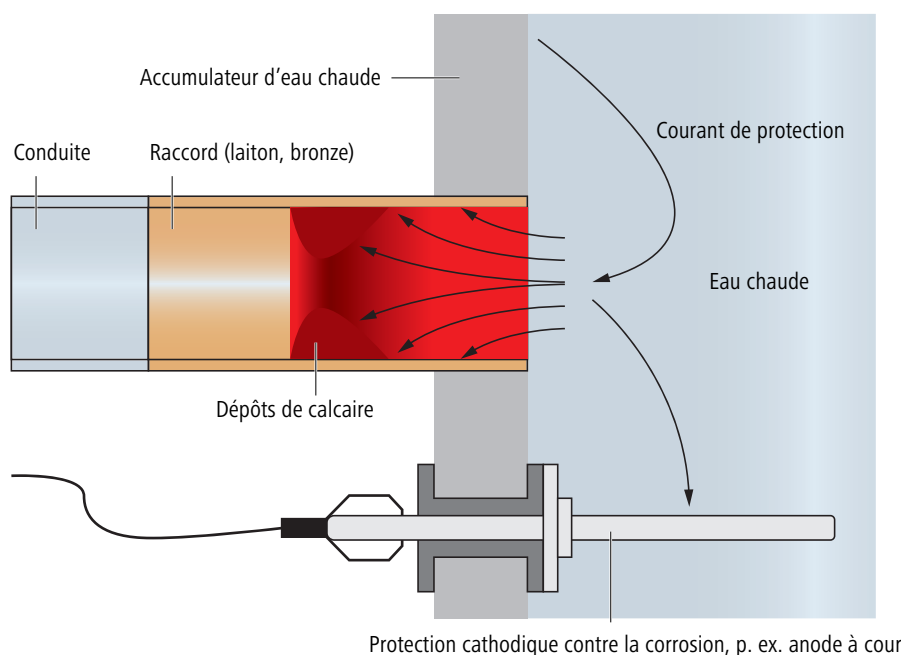


Fig. 37: Les courants continus venant d'installations de protection contre la corrosion peuvent causer des dépôts de calcaire dans les raccords en laiton montés au niveau des raccordements d'accumulateurs d'eau chaude (photo issue de la notice technique Suissetec W10019 intitulée *Dépôts sur les raccords en laiton de circuits d'eau chaude*).

4.1 Aspect des dommages

La photo ci-dessous montre un dépôt de calcaire dans un raccord en laiton de 1 pouce. Le raccordement avec le ballon d'eau chaude était situé sur le côté droit du raccord.



Fig. 38: Dommages par des dépôts de calcaire dans les raccords en laiton (photo: notice technique Suissetec W10019)

4.2 Comment éviter les dépôts de calcaire

Des dépôts de calcaire se forment dans les raccords en laiton en raison de courants de protection qui, p. ex., proviennent d'une anode à courant externe du ballon d'eau chaude. Or, ces dépôts peuvent être empêchés par le montage d'un tronçon de conduite à isolation électrique dont la longueur est environ 5 fois supérieure au diamètre nominal de la conduite.

Les variantes d'exécution théoriques suivantes sont possibles:

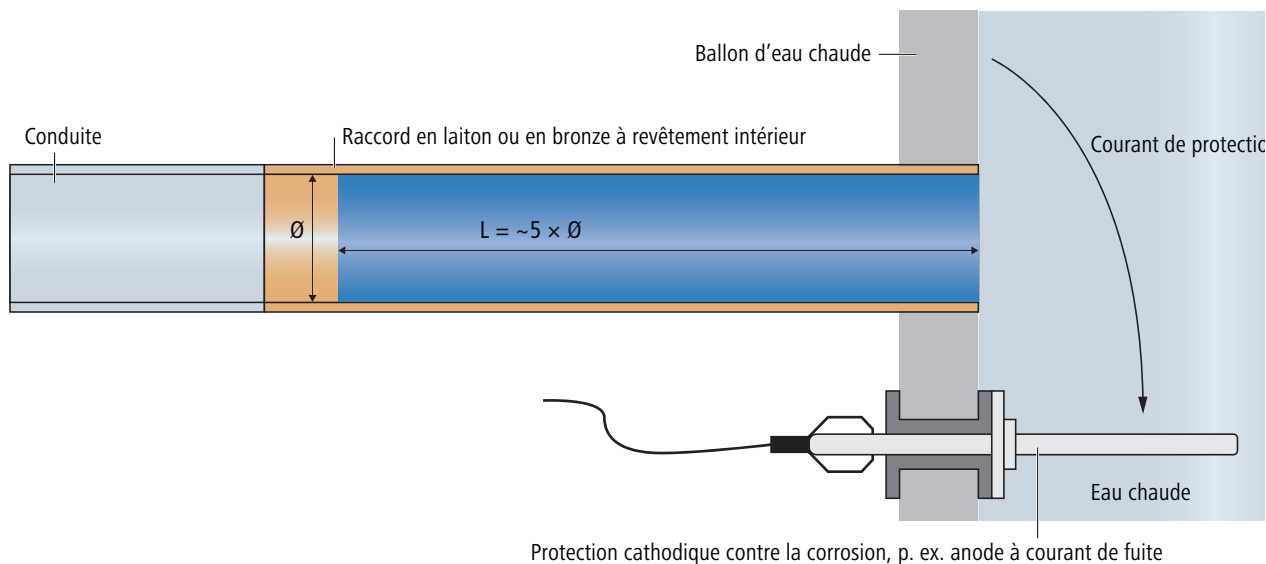


Fig. 39: Raccord avec revêtement interne à isolation électrique

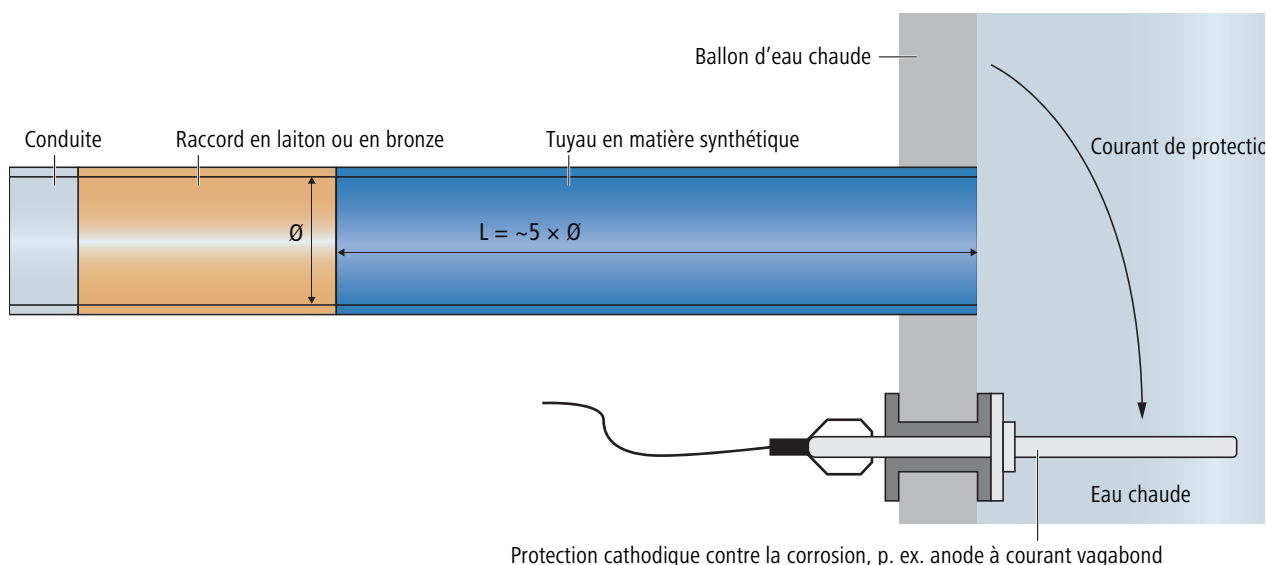


Fig. 40: Tuyau en matière synthétique entre le ballon d'eau chaude et la conduite

Une solution pratique serait de monter une vis de rappel isolante.

4.2.1 Séparation électrique des conduites

La vis de rappel isolante 81042 sert à séparer électriquement les conduites. Elle est à joint plat et le raccord à sertir est muni d'un SC-Contour.



Fig. 41: Vis de rappel isolante (non vissé/vissé)

1	Raccord fileté RP
2	Joint plat
3	Raccord à sertir (avec SC-Contour)
4	Bague de séparation
5	Ecou mobile

5 Carbonate de cuivre

Lorsqu'ils sont en contact avec de l'eau, les matériaux en cuivre peuvent former de l'oxyde de cuivre (Cu_2O), qui constitue une fine couche brune sur la surface métallique et la protège ainsi de la corrosion. Selon la composition de l'eau, la couche est percée, et il se forme des inégalités constituées de carbonate de cuivre. Tout cela finit par constituer une couche verte homogène. Le carbonate de cuivre (CuCO_3) est sans danger pour la santé. Il ne doit pas être confondu avec le vert de gris (acétate de cuivre), qui se forme par une réaction entre le cuivre et l'acide acétique (vinaigre).

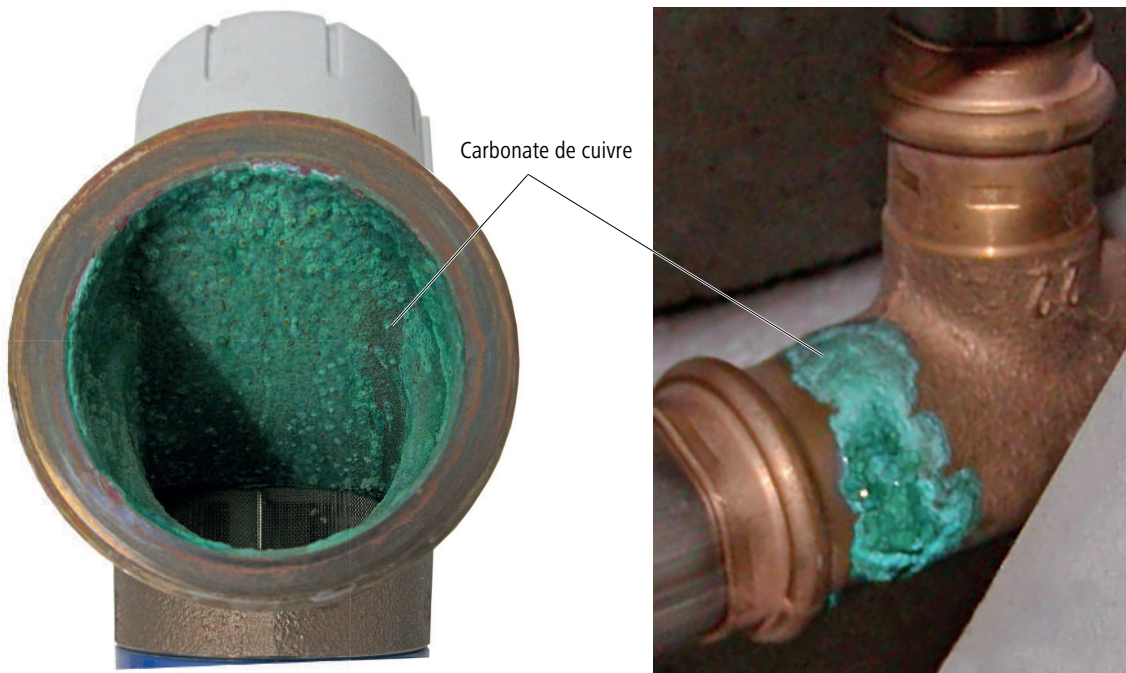


Fig. 42: A gauche: carbonate de cuivre à l'intérieur d'un réducteur de pression; à droite: carbonate de cuivre à l'extérieur d'un té

Les matériaux en cuivre de Nussbaum suivants peuvent former du carbonate de cuivre:

- Bronze CC246E
- Bronze CC499K
- Laiton CW617N
- Cuphin CW724R

6 Vieillissement des matières synthétiques

Les matières organiques (matières synthétiques) sont soumises au vieillissement. Les raisons du vieillissement dépendent du matériau:

Polymères:

- Rayonnements UV
- Vieillissement thermique (thermo-oxydation)
- Crazing (tensions de traction et agents chimiques agressifs)

Elastomères:

- Gonflement
- Décomposition thermique
- Agression par des substances polaires (p. ex. l'eau)

6.1 Comportement au fluage des tuyaux en matière synthétique

Le comportement au fluage est une propriété importante des tuyaux en matière synthétique soumis à une pression interne; c'est de ce comportement que dépend leur durée de vie. Le comportement au fluage est largement déterminé par la pression, la température et les fluides.

Des procédés d'essais normalisés permettent de prévoir la durée de vie des tuyaux en matière synthétique. Dans la mesure où les durées d'essai sont suffisantes, le comportement au fluage des tuyaux en matière synthétique se présente dans le diagramme ci-dessous sous la forme d'une courbe découpée en trois zones.

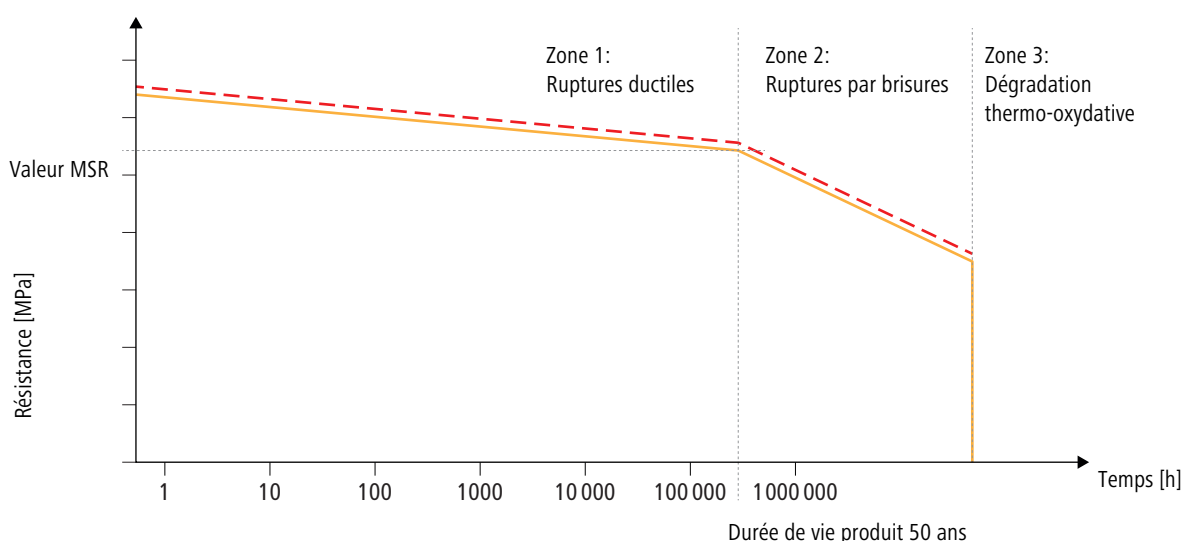


Fig. 43: Comportement au fluage et valeur MSR de tuyaux en matière synthétique (source: SKZ Würzburg)

Domaine	Type de rupture
1	Rupture ductile suite à une défaillance au niveau de la ductilité Tensions de traction dépassant la limite élastique du tuyau en matière synthétique
2	Rupture fragile déclenchée par une défaillance quasi-fragile Formation de fissures de contraintes et lente progression des fissures
3	Rupture fragile suite à une dégradation thermo-oxydative Fragilisation du matériau et formation de nombreuses fissures sur le pourtour du tuyau en matière synthétique.

Tab. 6: Description des types de rupture pour les tuyaux en matière synthétique

La valeur MSR (minimum required strength) indique la résistance à la pression interne sur une durée longue de 50 ans (pour une température moyenne du fluide de 20 °C).

6.2 Aspect des dommages

Les photos suivantes montrent les dommages que subissent les tuyaux en matière synthétique en fonction des divers types de rupture.

Photo	Type de rupture
	Rupture ductile d'un tuyau PEX suite à une défaillance au niveau de la ductilité
	Rupture fragile d'un tuyau en polybutène suite à une défaillance quasi-fragile
	Rupture fragile d'un tuyau en matière synthétique suite à une dégradation thermo-oxydative

Tab. 7: Dommages par types de ruptures subies par les tuyaux en matière synthétique

7 Endroits où se manifeste la corrosion

7.1 Corrosion extérieure

On entend par corrosion extérieure l'apparition de corrosion sur les faces extérieures d'éléments de conduite, p. ex. robinetteries, tronçons de tuyaux et raccords.

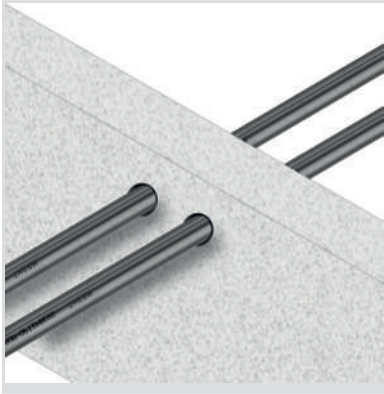
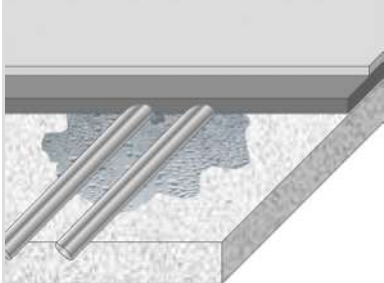
Les raisons de la corrosion extérieure sont:

- Combinaisons de matériaux de construction exposés à l'humidité
- Environnement corrosif (gaz, acides, solutions alcalines)

7.1.1 Plafonds et murs

Les plafonds et les murs contiennent souvent des matériaux chlorés qui, en présence d'humidité, corrodent les conduites.

Le tableau ci-dessous illustre des configurations de construction typiques.

Configuration de construction	Description
	Traversées de plafonds
	Traversées de murs
	Chapes

7.1.2 Isolations thermiques

La corrosion sous les isolations thermiques représente dans le monde entre 40 et 60 % des frais de maintenance pour les conduites.

Pour la fabrication d'une isolation thermique, on utilise des agents moussants (gaz propulseurs) qui, en présence d'humidité, ont une action corrosive, comme l'ammoniac. Les isolations thermiques peuvent également renfermer des composés chlorés. En présence d'humidité, ces composés sont susceptibles de corroder des pièces métalliques.

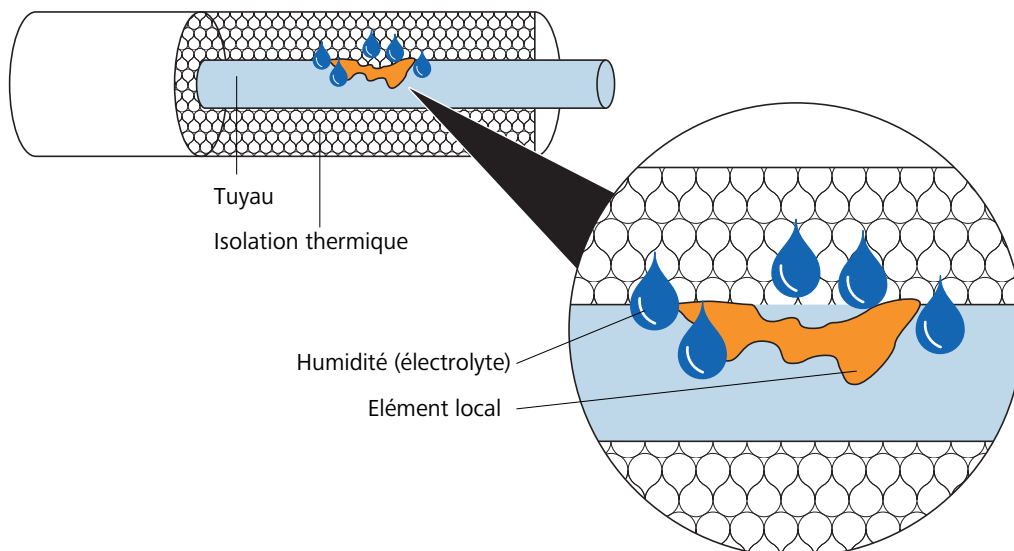


Fig. 44: Corrosion sous une isolation thermique

Matériaux utilisés pour les isolations thermiques:

- Laine de verre
- Laine minérale
- Mousse rigide de polyuréthane (PUR)
- Mousses élastomères (FEF)
- Mousses polyéthylènes (PEF)

Pour empêcher la pénétration de l'humidité entre l'isolation thermique et les conduites, il faut mettre en œuvre des systèmes d'étanchéité, des enveloppes ou des revêtements de protection à **pores fermés**.

7.2 Corrosion intérieure

On entend par corrosion intérieure l'apparition de corrosion sur les faces intérieures d'éléments de conduite, p. ex. robinetteries, tronçons de tuyaux et raccords.

7.2.1 Corrosion dans des conduites de chauffage

La corrosion dans les conduites de chauffage peut avoir pour origine plusieurs causes. Parmi celles-ci, une teneur en oxygène trop élevée dans l'eau de chauffage. L'oxygène présente toujours un potentiel électrochimique plus élevé que celui de métaux non-nobles comme p. ex. l'acier au carbone non-allié. Cette exposition à l'oxygène entraîne une corrosion. La teneur trop élevée en oxygène s'explique souvent par un apport involontaire d'oxygène, p. ex. par:

- des tuyaux en matière synthétique perméables à l'oxygène,
- de l'eau de boisson comme eau de chauffage,
- des vannes de détente.

Les directives suivantes sont des documents de planification importants:

- Directive SICC BT102-01 sur la qualité de l'eau dans les installations techniques du bâtiment
- Directive SICC HE301-01 sur les dispositifs techniques de sécurité pour les installations de chauffage

8 Protection contre la corrosion

8.1 Protection active contre la corrosion

En présence d'une protection active contre la corrosion, les processus de corrosion électrochimique sont modifiés activement par le procédé de protection, p. ex. en agissant sur la concentration d'ions dans l'électrolyte.

8.1.1 Traitement de l'eau de boisson

Le traitement de l'eau de boisson et le choix de sa composition peuvent se faire de façon centralisée par la compagnie des eaux, qui peut p. ex. décider d'y injecter du dioxyde de carbone. Le gaz carbonique de l'eau de boisson peut empêcher la formation de couches de calcaire inhibitrices de corrosion (couches couvrantes) dans les conduites, mais aussi corroder des éléments de construction en cuivre et en acier.

Si le traitement de l'eau de boisson dans le bâtiment est décentralisé, il peut inclure p. ex. le dosage des minéraux. C'est ainsi que la mise en place de filtres empêche l'entrée de substances étrangères dans le système de conduites.

8.1.2 Préserver la propreté des installations d'eau de boisson

8.1.2.1 Rinçage des installations d'eau de boisson

Le rinçage des installations d'eau de boisson selon SSIGE W3/C3 avant leur exploitation conforme à la destination a pour but d'en éliminer les substances étrangères susceptibles d'avoir un effet corrosif, p. ex. des copeaux après des opérations d'usinage, des résidus de soudage ou de brasage, ou encore du sable.

8.1.2.2 Façonnage en fonction des matériaux utilisés

Des erreurs durant le façonnage de tuyaux peuvent entraîner des dommages par la corrosion. C'est ainsi qu'il faut choisir les outils selon le type de matériau à façonner. Cela permet d'être efficace et d'empêcher que des copeaux de divers matériaux se retrouvent dans les conduites. Des essais ont été menés en laboratoire pour étudier les effets de copeaux de divers types métalliques sur les tuyaux en acier. Ces essais ont consisté à déposer des copeaux métalliques dans des tuyaux en acier et en acier inoxydable et de les asperger avec une solution saline. Les tuyaux ont ensuite été stockés pendant plusieurs heures.

La photo ci-dessous montre les copeaux métalliques complètement corrodés et retirés après un premier essai, ainsi que les produits de leur corrosion dans le tuyau en acier inoxydable. Les produits de corrosion sont constitués de couches qui adhèrent mal sur la surface des tuyaux, ce qui permet de les enlever facilement. Les dépôts très fins restent cependant collés sur la surface. Le tuyau en acier inoxydable ne présente pas de corrosion visible.

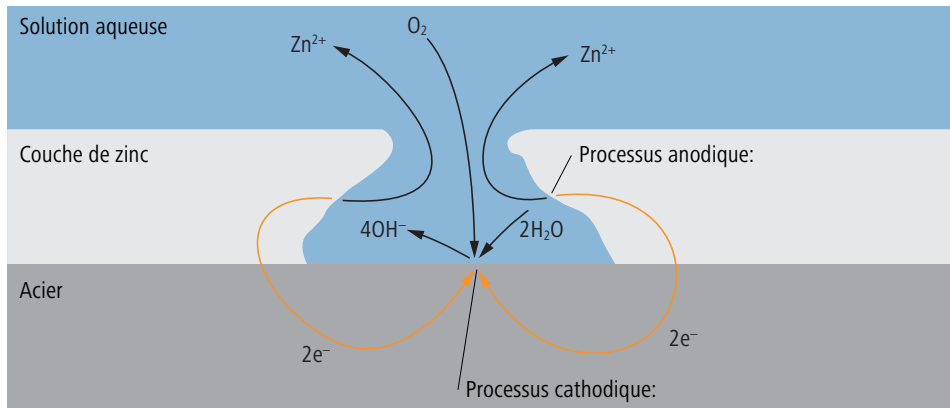


Fig. 45: Copeaux métalliques corrodés dans un tuyau en acier inoxydable

1	Copeaux de fer corrodés 1.0037
2	Tuyau en acier inox 1.4401
3	Dépôts (avant leur élimination par rinçage)

8.1.3 Protection cathodique contre la corrosion

Dans la protection cathodique contre la corrosion, un métal non-noble fait fonction d'anode alors que le métal à protéger agit comme cathode dans le système de corrosion. On assiste alors à la dissolution du métal non-noble au lieu du métal noble (principe de fonctionnement de l'anode sacrificielle).



Processus anodique: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

Processus cathodique: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

Fig. 46: Protection cathodique contre la corrosion par zingage

Comme exemple pour la protection cathodique contre la corrosion, on peut citer le zingage de tuyaux en acier au carbone: la couche de zinc sur les tuyaux en acier au carbone protège contre la corrosion en agissant comme anode sacrificielle par rapport à l'acier précieux. L'effet cathodique de la couche de zinc empêche la corrosion de l'acier. Pour le zingage des éléments de construction, il existe divers procédés, p. ex. le zingage à chaud ou le zingage par trempage.



Fig. 47: Tuyau Optipress-Therm zingué en acier non allié 1.0034

8.1.4 Anode de protection

Les anodes de protection sont utilisées pour la protection cathodique contre la corrosion de constructions métalliques qui se trouvent dans de l'eau ou dans le sol.

Les accumulateurs d'eau chaude sont en général constitués d'un récipient en acier dont l'intérieur est revêtu d'une couche d'émail protectrice. A la fabrication de cette couche, on ne peut cependant exclure l'apparition de fissures. Dans cette couche d'émail, il suffit de minuscules fissures pour que se forment des éléments galvaniques et donc des courants de corrosion, l'eau chaude dans l'accumulateur ayant une action électrolytique. L'anode de protection en magnésium non noble se dissout à la place de l'acier (d'où le nom d'«anode sacrificielle»). Les ions de magnésium dissous se déposent dans les fissures de l'acier inoxydable du récipient (cathode) et forment une couche protectrice. Les qualités hygiéniques de l'eau ne sont pas altérées par les ions de magnésium dissous dans l'eau.

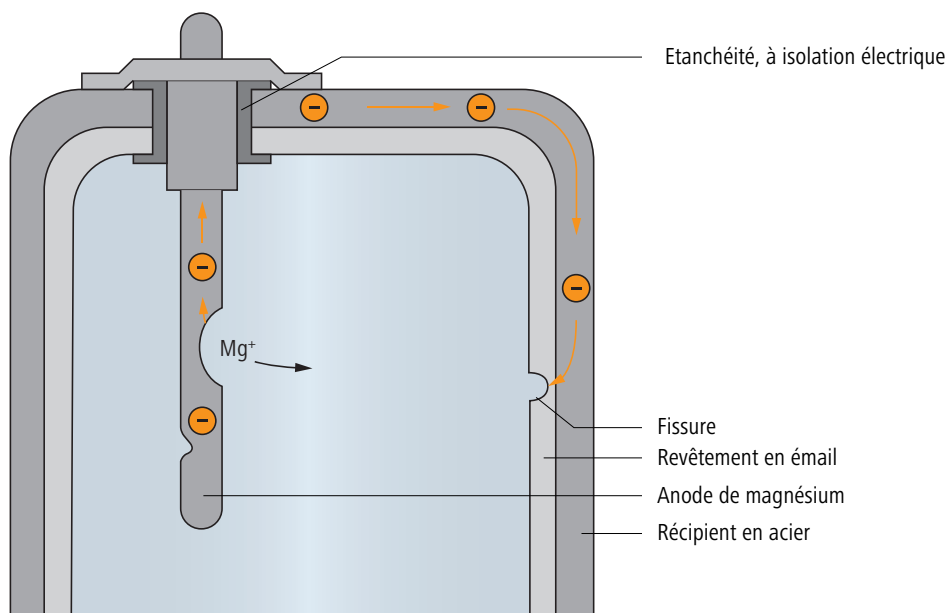


Fig. 48: Principe de fonctionnement de l'anode de protection (schéma: Blickle, Technique d'installation)

8.1.5 Anode à courant vagabond

L'anode à courant vagabond protège les ballons en acier à revêtement en émail contre la corrosion électrochimique. En présence de minuscules fissures dans le revêtement en émail, l'anode à courant vagabond fournit le courant de protection issu d'une source de courant externe (protection contre le courant de fuite). Contrairement à l'anode sacrificielle, l'anode à courant vagabond ne nécessite pas de maintenance.

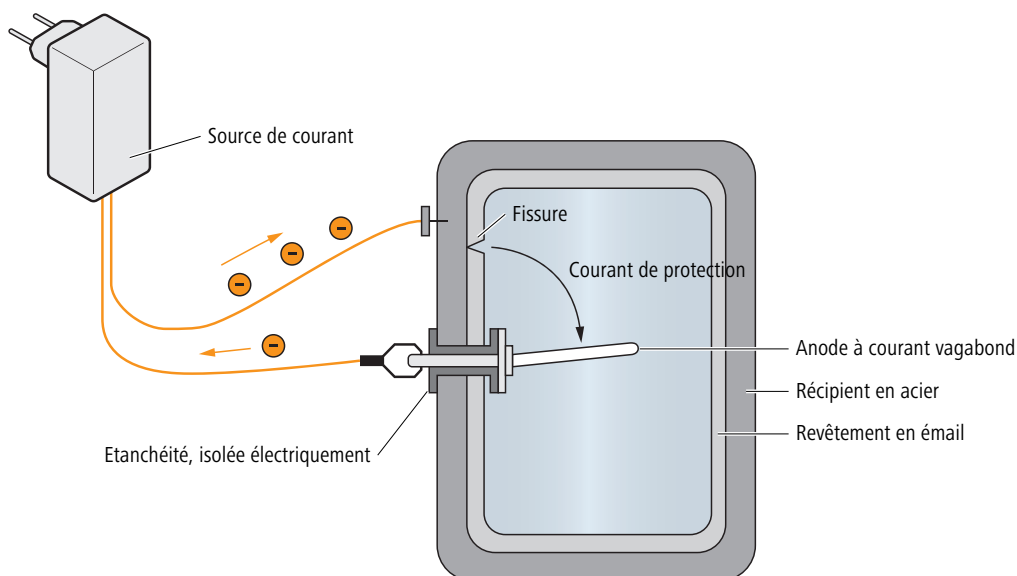


Fig. 49: Anode à courant vagabond (schéma: Blickle, Technique d'installation)

8.2 Protection passive contre la corrosion

La protection passive des surfaces métalliques contre la corrosion est obtenue en les revêtant de matière synthétique, de métal, d'oxydes métalliques ou de céramique.

8.2.1 Aciers inoxydables

L'acier inoxydable se caractérise par l'élément d'alliage chrome (avec une teneur dans l'alliage d'au moins 10.5 %). Sur la surface métallique, le chrome forme une couche passive par oxydation, ce qui réduit considérablement la corrosion. A partir d'une teneur en chrome de 12 % dans l'alliage, il n'y a pratiquement plus d'érosion surfacique au niveau de la surface métallique.

Le diagramme ci-dessous montre le rapport entre la teneur en chrome et la perte de masse par corrosion dans les aciers à teneur en chrome.

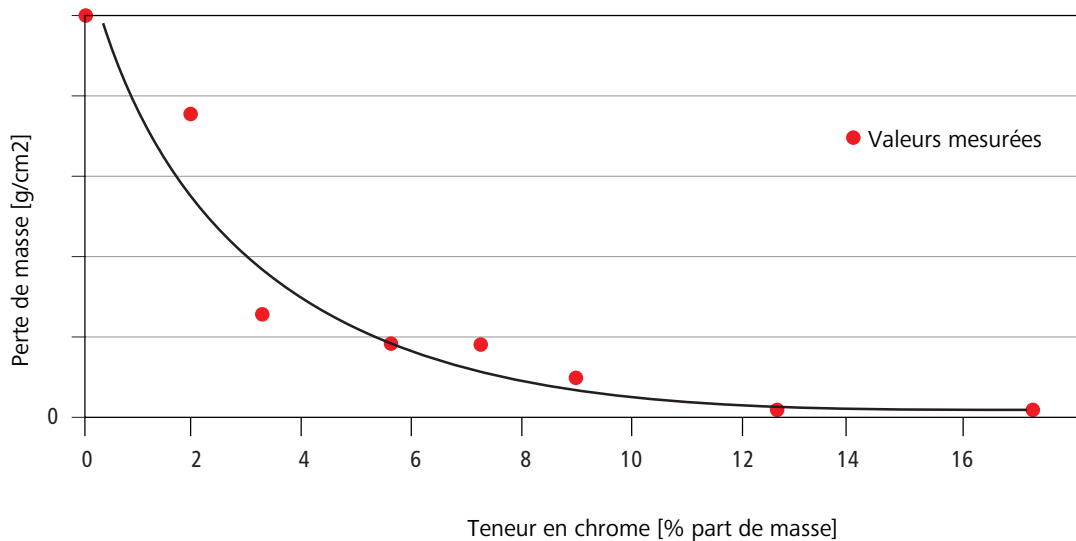
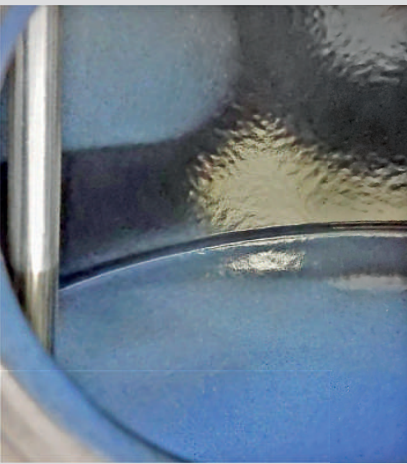
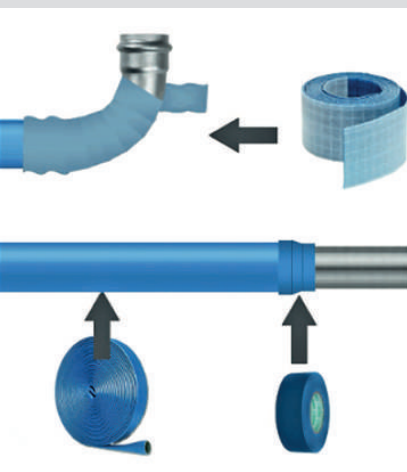


Fig. 50: Perte de masse par corrosion pour les aciers à différentes teneurs en chrome (diagramme: Boniardi, Aciers inoxydables)

8.2.2 Revêtements de protection

Les revêtements de protection empêchent le contact du métal avec le milieu corrosif.

Revêtement de protection	Photo	Description
Revêtements de protection métalliques		Les revêtements de protection métalliques peuvent être appliqués par des procédés galvaniques. Les réactions électrochimiques qu'ils déclenchent ont pour effet de déposer une couche de protection métallique sur l'élément de construction. La photo montre l'échangeur thermique revêtu de cuivre, qui se trouve intégré dans le chauffe-eau à pompe à chaleur Aquapro-Ecotherma 200.
Revêtements en émail		Les revêtements en émail sont communément utilisés comme protection passive contre la corrosion dans les accumulateurs d'eau chaude. La photo montre le revêtement en émail du ballon d'eau chaude qui est intégré dans le chauffe-eau à pompe à chaleur Aquapro-Ecotherma 200.
Tuyaux de protection et bandages d'enroulement		Les tuyaux de protection et bandages d'enroulement en matière synthétique protègent les éléments de conduite de l'humidité et d'autres matières à effet corrosif.

8.3 Protection contre la corrosion par des éléments de construction

Protéger contre la corrosion par des éléments de construction signifie choisir les divers éléments et matériaux de manière à empêcher, si possible que l'installation sanitaire soit touchée par la corrosion pendant sa durée de vie. Pour obtenir ce résultat, il faut que l'installation sanitaire ait été conçue et montée en conformité avec les normes en vigueur. Lorsqu'il n'est pas possible d'éviter des installations mixtes, il faut observer les règles d'écoulement et les indications du fabricant en ce qui concerne la compatibilité avec les matériaux.

8.3.1 Choix des matériaux

En combinant divers matériaux, on obtient, pour les diverses parties d'une installation, des propriétés optimales en termes de résistance, d'isolation thermique et d'ergonomie, etc. Ces combinaisons peuvent toutefois présenter un risque accru de corrosion. Pour la réalisation de l'installation, il convient donc de trouver un équilibre optimal entre les propriétés chimiques et physiques des matériaux. Le graphique suivant réunit les paramètres pouvant présenter un risque de corrosion.

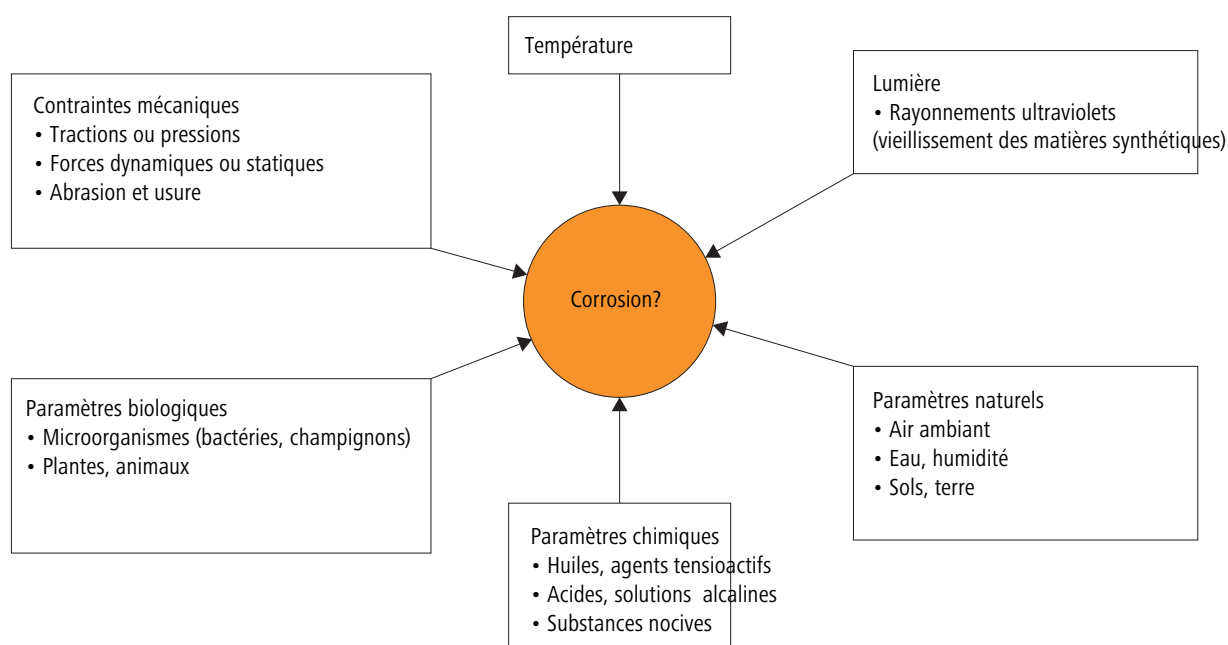


Fig. 51: Paramètres pouvant induire la corrosion

8.3.2 Installations mixtes

Par installation mixte, on entend une installation où les éléments de conduites tels que tuyaux, raccords, brides, compensateurs et robinetteries sont constitués de différents matériaux métalliques. Les installations mixtes sont exposées à un risque de corrosion bimétallique suite à des réactions électrochimiques. Pour éviter la corrosion bimétallique dans les installations mixtes, les règles suivantes doivent être respectées:

- Les éléments de conduite en acier inoxydable ne doivent pas être assemblés en contact direct avec des éléments de conduite en acier au carbone ou en cuivre. Pour ces assemblages, il faut utiliser des pièces intermédiaires appropriées, en bronze p. ex.
- Les éléments de conduite en cuivre ne doivent pas être placés en amont d'éléments de conduite en acier galvanisé. Pour empêcher l'introduction d'ions de cuivre dans des éléments de conduite en acier galvanisé, il convient de tenir compte du sens d'écoulement.

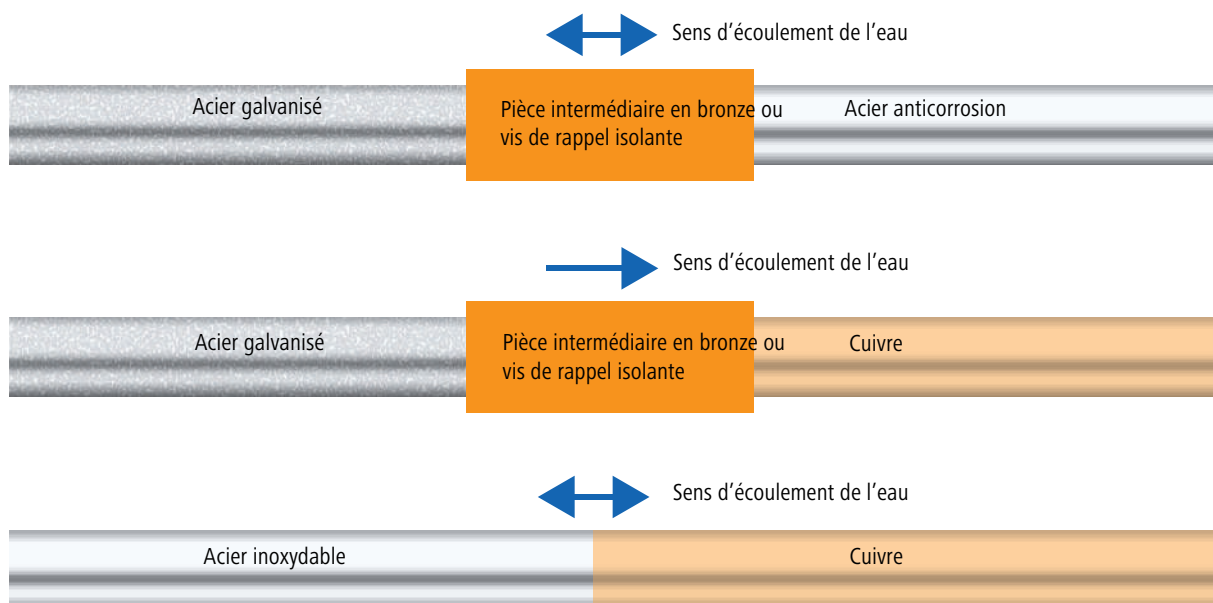


Fig. 52: Règles d'écoulement pour les installations mixtes

Comme la différence de potentiel entre cuivre et acier anticorrosion est faible, il n'est pas nécessaire de recourir à des pièces intermédiaires en bronze. Une pièce intermédiaire s'impose uniquement lorsque le rapport de surface entre cuivre et acier anticorrosion n'est pas approprié, autrement dit lorsque la surface en cuivre est petite par rapport à la surface en acier.

Pour empêcher la corrosion bimétallique sur les installations mixtes, on peut, au lieu de pièces intermédiaires en bronze, utiliser des éléments d'isolation. Comme élément d'isolation, on utilisera p. ex. une vis de rappel isolante Optipress-Aquaplast 81042.

Pour toute information complémentaire sur les installations mixtes avec des produits de Nussbaum, se reporter aux descriptifs système correspondants.

Ci-dessous sont décrits des exemples issus de la pratique.

Pour assurer dans la pratique une protection contre la corrosion par des éléments de construction, Nussbaum recommande une série d'installations mixtes avec des produits de Nussbaum.

8.3.2.1 Installations mixtes compatibles avec Optipress-Aquaplus

Dans le respect des règles citées auparavant, les installations mixtes suivantes sont techniquement admissibles au niveau de la corrosion:

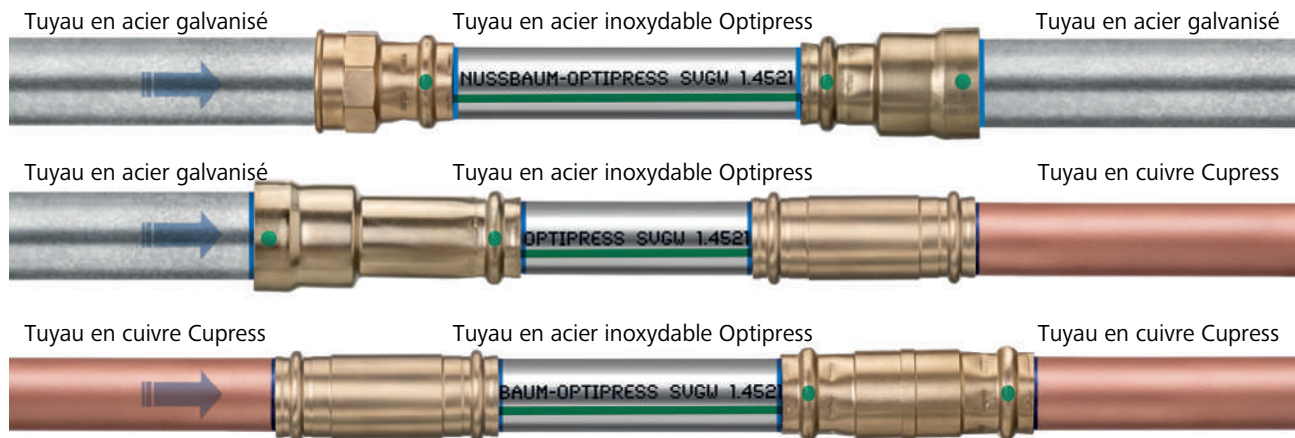


Fig. 53: Installations mixtes admissibles avec Optipress-Aquaplus

REMARQUE

Corrosion par contact en cas de montage non conforme

Quand sont utilisés des manchons de transformation, il arrive que les tuyaux se touchent à l'intérieur des manchons. Lorsque les tuyaux ne sont pas du même matériau, il peut y avoir un phénomène de corrosion par contact.

- Pour les manchons de transformation, il faut donc marquer soigneusement la profondeur d'emboîtement pour s'assurer que les tuyaux en matériaux différents ne se touchent pas à l'emboîtement.

8.3.2.2 Installations mixtes admissibles avec Optipress-Therm

Dans le respect des règles citées auparavant, les installations mixtes et résistantes à la corrosion suivantes sont autorisées:

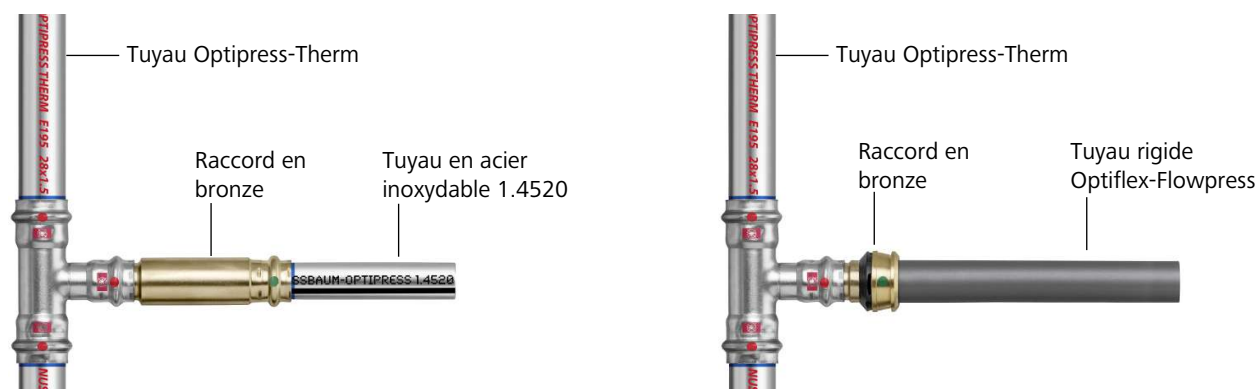


Fig. 54: Installations mixtes admissibles d'Optipress-Therm sur Optipress-Aquaplast et Optiflex-Flowpress

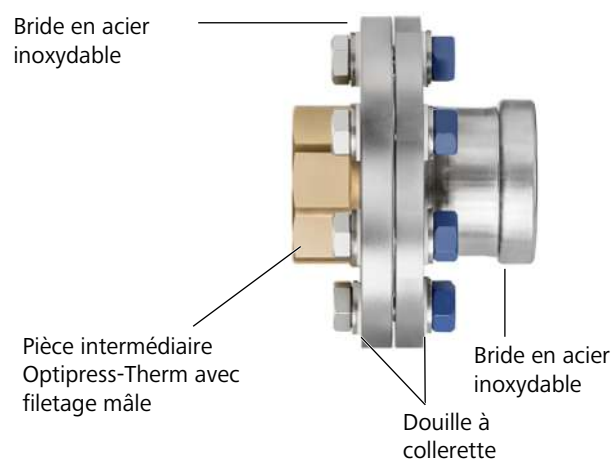


Fig. 55: Installations mixtes admissibles avec Optipress- Therm-XL

8.3.2.3 Installations mixtes admissibles avec Optipress-Gaz

Dans le respect des règles citées auparavant, les installations mixtes suivantes sont techniquement admissibles au niveau de la corrosion:

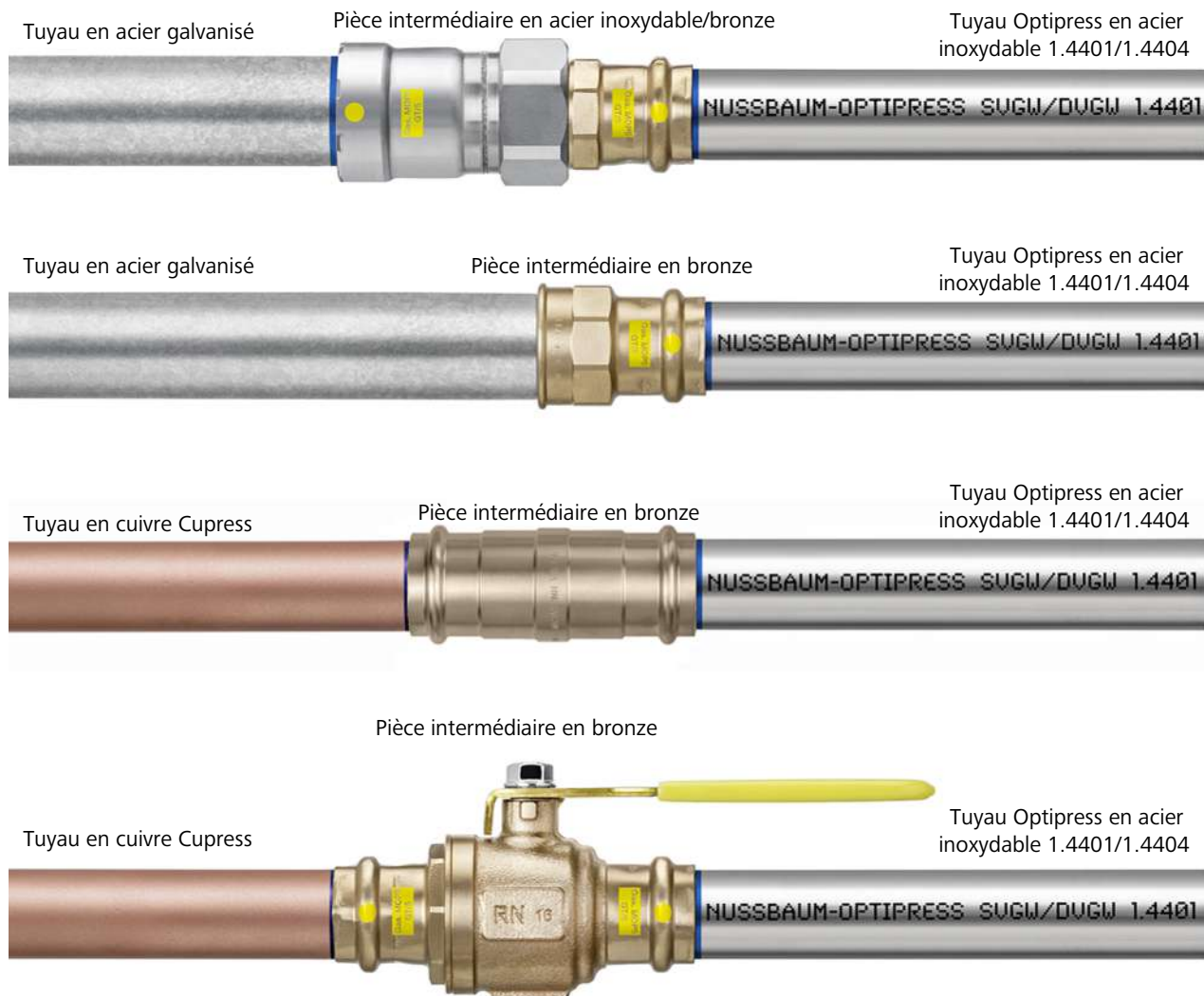


Fig. 56: Installations mixtes admissibles avec Optipress-Gaz

REMARQUE

Corrosion par contact en cas de montage non conforme

Quand sont utilisés des manchons de transformation, il arrive que les tuyaux se touchent à l'intérieur des manchons. Lorsque les tuyaux ne sont pas du même matériau, il peut y avoir un phénomène de corrosion par contact.

- Pour les manchons de transformation, il faut donc marquer soigneusement la profondeur d'emboîtement pour s'assurer que les tuyaux en matériaux différents ne se touchent pas à l'emboîtement.

8.3.2.4 Installations mixtes admissibles avec accouplements 83090

Pour les installations mixtes, on utilise les accouplements 83090.

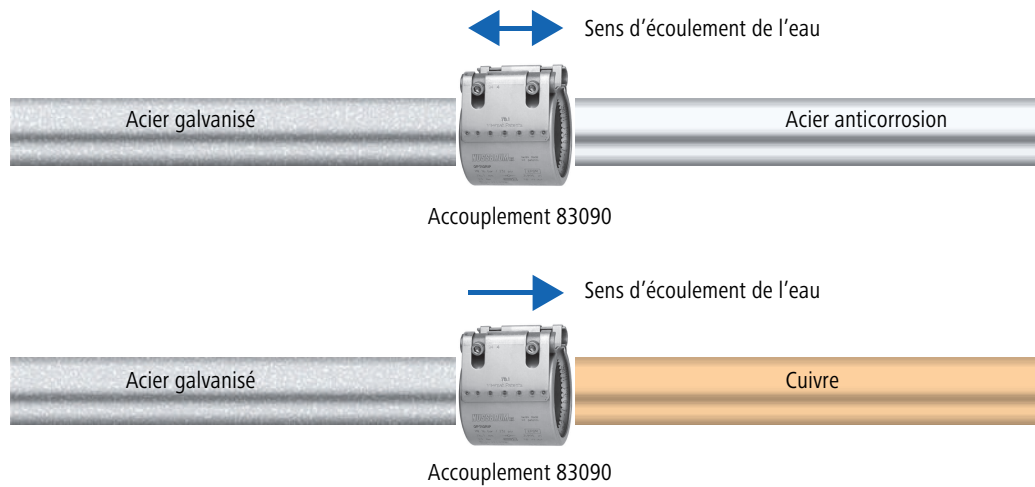


Fig. 57: Installations mixtes admissibles avec accouplements 83090

Pour le montage d'accouplements, il convient de respecter la distance jusqu'à la fin de la conduite, que l'on trouvera indiquée dans les instructions de montage correspondantes.

9 Matériaux

Les matériaux sont divisés en classes:

- Métaux
- Matières synthétiques
- Elastomères
- Matériaux cellulaires (mousses)
- Matériaux composites
- Céramiques techniques
- Matériaux naturels (bois)

9.1 Métaux

9.1.1 Acier au carbone

Les aciers au carbone suivants sont utilisés pour la fabrication des produits Nussbaum.

Produit	Matériau
Raccords Optifitt-Press	Acier 1.0308 revêtu de zinc-nickel
Tuyaux Optipress-Therm	Acier 1.0037 galvanisé
Raccords Optipress-Therm	Acier 1.0308 galvanisé

9.1.2 Acier inoxydable

Sur les robinetteries Nussbaum, les composants à sollicitation élevée tels que les sièges de soupapes sont tous exécutés en acier inox. Les robinetteries des systèmes Optipress de Nussbaum sont disponibles complètement en acier inoxydable.

Comme l'acier inoxydable ne libère pas d'ions métalliques dans les fluides, il ne peut pas constituer de milieu nutritif pour les microorganismes. Les humains et l'environnement n'encourent donc pas de risques liés à des microorganismes. L'utilisation d'un acier inoxydable est le meilleur garant pour une pureté et une hygiène parfaites.

9.1.2.1 Comparaison entre les divers aciers inoxydables

Le tableau suivant compare les aciers inoxydables utilisés par Nussbaum.

Caractéristique	1.4401/04/08	1.4521	1.4520
Composition chimique	X5CrNiMo 17-12-2	X2CrMoTi 18-2	X2CrTi 17
Structure	Austénite	Ferrite	Ferrite
Utilisation	Raccords pour gaz Tuyaux pour gaz Raccords pour eau de boisson	Tuyaux pour eau de boisson	Tuyaux industriels
Certificat SVGW pour l'eau de boisson	Oui	Oui	Non
Directive équipements sous pression UE TÜV	Oui	Oui	Oui
Certification TÜV relative à l'acétylène et à l'oxygène	Oui	Oui	Oui
Sprinklers homologués VdS	Oui	Oui	Oui

9.1.3 Alliages de cuivre (bronze et laiton)

Le bronze en tant que matériau peut être combiné avec tous les matériaux d'installation connus. Les alliages en contact avec l'eau de boisson qu'utilise Nussbaum résistent à la corrosion, y compris aux types fréquents que sont la corrosion par dézincification et la corrosion fissurante sous tension.

Les alliages bronze de Nussbaum sont référencés par les numéros de matériau CC499K et CC246E dans la norme européenne EN 1982. Les deux alliages bronze font partie de la liste positive des 4EM, reconnue par la SVGW et relative aux matériaux métalliques appropriés pour l'hygiène de l'eau de boisson.

Composition métallurgique selon la norme EN 1982:

- CC499K, CuSn5Zn5Pb2, contenant du plomb
- CC246E: CuSi4Zn9MnP, sans plomb (REACH: plomb < 0.1 % comme impureté d'alliage est reconnu comme sans plomb)

Le laiton est utilisé pour les applications à exigences réduites. Les numéros de matériaux CW617N et CW724R figurent dans la norme EN 1982. Ces deux alliages laiton font partie de la liste positive des 4EM, reconnue par la SVGW et relative aux matériaux métalliques convenant pour l'hygiène de l'eau de boisson.

Composition métallurgique selon la norme EN 1982:

- CW617N: CuZn40Pb2, au plomb
- CW724R: CuZn21Si3P, sans plomb, à teneur en nickel réduite (REACH: plomb < 0.1 % comme impureté d'alliage est reconnu comme sans plomb).

Pour le revêtement des alliages de cuivre, on emploie le chromage ou le nickelage, le nickelage des matériaux en contact avec l'eau de boisson étant cependant interdit.

La fonderie de Nussbaum fonctionne désormais à 100 % sans plomb (www.nussbaum.ch/fr/sans-plomb.html).

9.1.3.1 Comparaison entre les alliages de cuivre

Le tableau suivant compare les alliages de cuivre qu'utilise Nussbaum.

Caractéristique	Bronze CC246E	Cu- phin CW724R	Bronze CC499K	Laiton CW617N
Désignation	RgN	Cuphin	Rg5	Ms
Composition chimique	CuSi4Zn9MnP	CuZn21Si3P	CuSn5Zn5Pb2	CuZn40Pb2
Plomb comme composant d'alliage	Non	Non	Oui	Oui
Type de corrosion spécifique****		Corrosion sélec- tive		Corrosion fissu- rante sous ten- sion, dézincifica- tion
Aptitude pour eau de boisson reconnue par la SVGW	Oui	Oui	Oui*	Oui*
Autorisation REACH 2019	Oui	Oui	Non**	Non**
Certificat Minergie-ECO	Oui	Oui	Non***	Non***
Sans minéraux issus de zones de conflits	Oui	Oui	Non	Oui

* Fait partie de la liste positive 4MS (UBA) reconnue par la SVGW, qui spécifie les matériaux métalliques adéquats.

** Le plomb est considéré comme une substance dangereuse et pourrait être interdit à partir de 2022, même lorsqu'il est utilisé en alliage (obligation de déclaration).

*** La délivrance du certificat est possible dans des cas exceptionnels (en l'absence de matériaux de substitution).

**** Les alliages de cuivre qui entrent en contact avec de l'eau de boisson forment souvent du carbonate de cuivre. Ces produits de corrosion peuvent avoir un aspect verdâtre et résultent d'une corrosion surfacique ou par piqûres.

REACH: règlement de l'UE (Union européenne) relatif à l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques (REACH = registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals).

La fonderie de Nussbaum fonctionne désormais à 100 % sans plomb (www.nussbaum.ch/fr/sans-plomb.html).

9.1.3.2 Remarques relatives aux alliages de cuivre contenant du plomb

Conformément à l'article 71 de l'Ordonnance sur les produits chimiques (OChim) et en accord avec l'article 33 du règlement UE-REACH, nous déclarons que dans les produits en bronze (CC499K) et en laiton (CW617N), la matière «plomb» (numéro CAS 7439-92-1) y est présente dans une concentration supérieure à 0.1 en pourcentage en poids. Le plomb est incorporé aux produits sous forme d'alliage. Lorsque ces produits sont utilisés et transformés correctement et conformément à leur destination, il n'est pas nécessaire de prendre des mesures de sécurité particulières.

Dans les installations d'eau de boisson, les composants en bronze (CC499K) et en laiton (CW617N) sont susceptibles d'entraîner un dépassement de la valeur limite de plomb. Des précisions à ce sujet sont consultables dans l'OPBD (Ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public). Un dépassement est possible en fonction des surfaces mouillées et de la qualité de l'eau de boisson. Pour toute installation devant répondre à l'exigence «sans plomb», nous vous recommandons d'utiliser des produits en bronze (CC246E), en acier inox ou en autres matériaux sans plomb. Les spécifications actuelles des matériaux de nos produits sont consultables dans notre boutique en ligne Nussbaum.

9.1.3.3 Minéraux provenant de zones de conflits

Le qualificatif «minéraux provenant de zones de conflits» se rapporte à des matières premières et minéraux en provenance d'une partie du monde où se déroule un conflit qui complique l'extraction et le négoce de ces matériaux (www.ecovadis.com).

Les matériaux suivants sont réputés critiques en ce qui concerne leur extraction:

- Or (Au)
- Etain (Sn)
- Cobalt (Co)
- Tungstène (W)

Exemple de la stratégie de Nussbaum qui consiste à éviter d'utiliser des minéraux provenant de zones de conflits: en passant de l'alliage de bronze au plomb CC499K à l'alliage de bronze sans plomb CC246E, on se passe de l'étain (Sn), qui lui aussi provient d'une zone de conflits.

9.2 Matières synthétiques

Les matières synthétiques utilisées par Nussbaum ont été choisies et contrôlées pour leur usage dans les domaines correspondants. Les matières synthétiques pour les installations d'eau de boisson ont été établies comme étant aptes pour assurer une eau de boisson hygiénique.

Matériau synthétique	Description
PE-Xc	Polyéthylène souple réticulé par faisceau d'électrons.
PE-RT	Le polyéthylène à résistance accrue à la température possède, dans son exécution PE-RT de type 2, une résistance au fluage optimale pour les applications d'eau de boisson. Ce matériau satisfait aux exigences de classe 2 (10 bars, 70 °C) selon l'ISO 22391.
PB	Polybutène, plus flexible que PE-Xc
PPSU	Le polyphénilsulfone est un matériau amorphe qui se caractérise par une température élevée de transition vitreuse et une faible capacité d'absorption de l'humidité. Les produits chimiques et gaz agressifs, en particulier ceux contenant des solvants, peuvent entraîner des dommages matériels et des défauts d'étanchéité.

En cas de contact par des substances incompatibles avec le PPSU, les éléments en PPSU peuvent subir des fissures de contrainte. Parmi les substances les plus fréquemment incompatibles avec le PPSU on compte:

- Généralités:
 - Solvants organiques tels que esters, phénols et cétones
 - Résines réactives telles que acrylates, isocyanates et époxydes
- Chimie de la construction:
 - Mousse PUR
 - Nettoyeur pistolet mousse PUR (acétone/MEK)
 - Colles anaérobies, cyanoacrylate, colles C-PVC
 - Primaires contenant des solvants, peintures, laques et diluants

Lorsque l'on applique des sprays de détection des fuites, il faut vérifier qu'ils sont appropriés pour le PPSU.

Les sprays de détection des fuites à base de tensides non-ioniques attaquent les pièces en PPSU et doivent, de ce fait, être rincés après usage.

Les sprays de détection des fuites compatibles avec le PPSU et qui contiennent entre autres des tensides anioniques n'ont pas à être rincés puisqu'ils n'abîment pas les composants en PPSU.

9.3 Elastomères

Les élastomères utilisés ont été choisis et contrôlés pour leur usage dans les domaines correspondants. Les élastomères pour les installations d'eau de boisson ont été établis comme étant aptes pour assurer une eau de boisson hygiénique.

Les élastomères en EPDM (éthylène-propylène-diène) sont à réticulation de type peroxyde. Cela permet d'augmenter la résistance à la température. Les joints en EPDM supportent de l'eau très chaude à 90 °C, voire 180 °C* pendant un court laps de temps.

*Pour toute information complémentaire, se reporter au document Nussbaum intitulé «Installations solaires thermiques», .

L'EPDM n'est pas résistant au gaz naturel, à l'huile minérale et aux graisses animales.

Les élastomères en HNBR (caoutchouc nitrile hydrogéné) sont fabriqués par hydrogénation catalytique du NBR et sont résistants au gaz et à l'huile minérale.

9.4 Matériaux cellulaires

De nombreux matériaux peuvent être amenés à adopter une structure cellulaire dont chaque cellule (pore) peut être ouverte et/ou fermée. Ces matériaux se présentent en principe sous la forme de mousses. La structure cellulaire permet d'élargir les applications du matériau de base, qui peut être p. ex. un métal ou une matière synthétique.

Les matériaux cellulaires tels que les mousses en matière synthétique sont utilisés dans la technique d'installation comme isolants thermiques.

Le tableau suivant montre des utilisations pour les matériaux cellulaires dans les produits de Nussbaum:

Produit	Matériau isolant
 Boîte d'isolation pour robinet de jardin hors gel	Styrotherm
 Boîte d'isolation des boîtiers à montage caché	Polypropylène expansé

Tab. 8: Exemples de produits en matériaux cellulaires

9.5 Matériaux composites

Les matériaux composites sont des mélanges ou combinaisons de divers matériaux de différentes propriétés qui, du fait de leur association, possèdent des propriétés étendues.

Les matériaux composites sont utilisés dans la technique d'installation pour fabriquer des tuyaux. Le tuyau Optiflex-Flowpress est constitué d'un matériau composite, plus précisément d'un tuyau en polyéthylène associé à un tuyau métallique. Le tuyau en alu est à l'intérieur et rend le tuyau en polyéthylène étanche à l'oxygène tout en réduisant la dilatation linéaire.

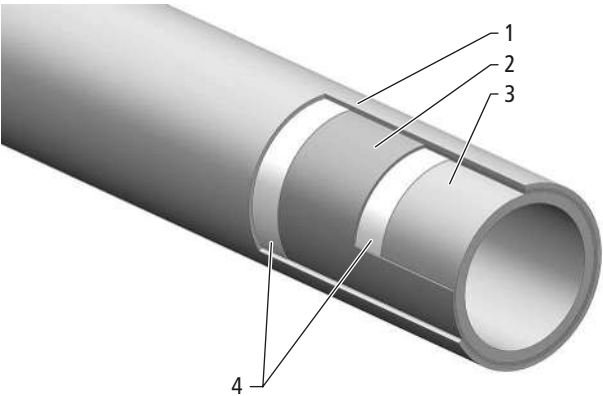


Fig. 58: Tuyau Optiflex-Flowpress rigide

1	Tuyau extérieur	Matière synthétique PE-X
2	Tuyau métallique	Aluminium
3	Tuyau intérieur	Matière synthétique PE-Xc
4	Promoteur d'adhérence	

9.6 Céramiques techniques

Les céramiques techniques sont des matériaux conçus pour des applications techniques. Par rapport aux céramiques techniques destinées à un usage domestique (vaisselle), les céramiques techniques présentent des qualités optimisées, p. ex. propreté accrue, résistance à la chaleur et résistance au frottement.

La céramique technique sert à la fabrication de la vanne à disque en céramique qui est montée dans le régulateur électronique de circulation 36020.

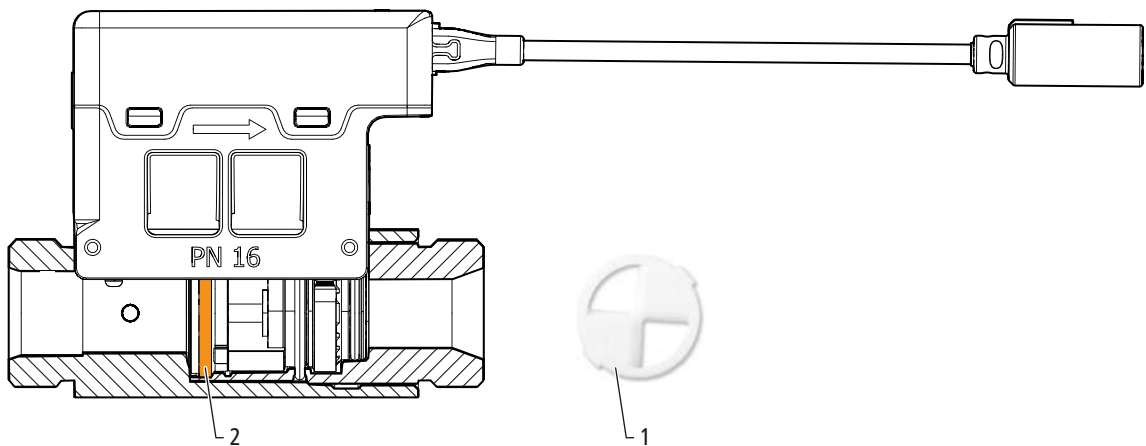


Fig. 59: Vue en coupe du régulateur de circulation, électronique

1	Disque céramique
2	Montage dans le régulateur de circulation 36020

Lexique

Anode

Electrode sur laquelle prédomine la réaction anodique.

Cathode

Electrode sur laquelle prédomine la réaction cathodique.

Corrosion

La corrosion est un phénomène de dégradation de matériaux métalliques par des réactions chimiques ou électrochimiques avec des agents corrosifs tels que l'eau, l'oxygène, etc.

Couche passive

Fine couche de protection qui se forme sur une surface métallique en partant de composants d'alliage, p. ex. une couche d'oxyde de chrome sur la surface d'aciers anticorrosion.

Couche recouvrante

Couche stable et inhibitrice de corrosion, qui se forme par dépôt durant l'utilisation (p. ex. couches de protection constituées de calcaire ou de rouille sur la surface intérieure de tuyaux).

Dommages liés à la corrosion

Altération de la fonction d'un matériau métallique ou d'un système par la corrosion.

Dureté de l'eau

Pour l'eau de boisson ou l'eau de chauffage, teneur en ions de calcium et de magnésium en [mol/m³].

Electrode

Conducteur d'électrons (p. ex. une pièce métallique) en contact avec un électrolyte.

Electrolyte

Solution aqueuse qui conduit le courant électrique à travers les ions, p. ex. l'eau de pluie.

Elément d'aération

Elément de corrosion dont la différence de potentiel résulte d'une différence dans la concentration d'oxygène à proximité des électrodes.

Elément de corrosion

Elément galvanique court-circuité dans un système de corrosion, une des électrodes étant formée par le métal corrosif.

Elément galvanique

Combinaison d'électrodes reliées par un électrolyte.

Ion

Les ions sont des atomes ou molécules chargés électriquement.

Macroélément

Elément de corrosion dont les électrodes sont distantes de quelques millimètres ou plus.

Matière corrosive

Matière qui provoque la corrosion d'une surface métallique.

Métal noble

Désignation pour les métaux qui présentent les potentiels comparativement plus positifs dans une série de potentiels électrochimiques, p. ex. le métal noble cuivre.

Métal non-noble

Désignation pour les métaux qui présentent les potentiels comparativement plus négatifs dans une série de potentiels électrochimiques, p. ex. l'acier galvanisé.

Microélément

Elément de corrosion dont les électrodes présentent une distance microscopique entre elles.

Milieu corrosif

Environnement dans lequel se trouvent un ou plusieurs agents corrosifs.

Nombre de Reynolds

Grandeur physique sans dimension, importante dans la mécanique des fluides. Est égal au rapport entre la vitesse d'écoulement et la viscosité (cinématique) du fluide multiplié par une grandeur géométrique caractéristique, p. ex. le diamètre du tuyau. Les valeurs inférieures à 1000 correspondent à un écoulement laminaire. Lorsqu'elles sont supérieures à 5000, l'écoulement est turbulent.

Oxydation

Réaction où un partenaire réactionnel cède des électrons, l'oxygène étant souvent impliqué comme oxydant.

Potentiel Galvani

Le potentiel Galvani (dénommée ainsi d'après le physicien italien Luigi Galvani) est la différence de potentiel entre deux phases, p. ex. entre une électrode métallique et une solution dans laquelle elle se trouve plongée. Le potentiel Galvani n'est ni mesurable ni calculable. C'est pourquoi les valeurs de potentiels d'électrodes doivent toujours être comprises comme relatives à une électrode de référence.

Réaction anodique

Réaction d'électrode équivalente à l'échange de charge positive de l'électrode à l'électrolyte, le courant circulant de l'électrode à l'électrolyte. Une réaction anodique est une oxydation, p. ex. $M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$, M représentant le métal, p. ex. Fe pour l'élément fer.

Réaction cathodique

Réaction d'électrode équivalente à l'échange de charge négative de l'électrode à l'électrolyte, le courant circulant de l'électrolyte à l'électrode. Une réaction cathodique correspond à une réduction, p. ex. $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2OH^{-}$

Réduction

Opération dans laquelle un partenaire réactionnel accueille un ou plusieurs électrons.

Régime laminaire

Ecoulement ordonné du fluide. L'écoulement affiche un profil d'écoulement caractéristique.

Régime turbulent

Ecoulement désordonné du fluide.

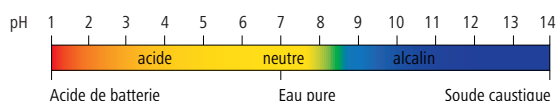
Série de potentiels électrochimiques

Liste de métaux dans laquelle les métaux sont classés d'après leur potentiel de corrosion libre.

Système de corrosion

L'ensemble des métaux et de leur environnement qui influent sur la corrosion de ces métaux.

Valeur pH



Valeur non dimensionnelle pour la concentration d'ions d'hydrogène (H⁺) dans une solution aqueuse. Définition: $pH = -\log(H^{+})$. Echelle de valeurs pH avec les couleurs de l'indicateur ph bleu de thymol:

Vieillessement

Par vieillissement, on entend l'altération des propriétés physiques et chimiques de matériaux (souvent pour les matières synthétiques) sous l'action, par exemple, de rayonnements UV durant le stockage ou l'utilisation. Il est possible de stabiliser les matériaux pour en freiner le vieillissement.

Bibliographie

- Blickle S. et al.: Installations- und Heizungstechnik 6. Auflage. Europa Lehrmittel Verlag Haan-Gruiten. 2017
- Boniardi A., Casaroli C.: Rostfreie Edelstähle. Grupo Lucefin
- EN ISO 12944-2:2017: Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen
- Heindl M., Martin A.: Gutachten 117900/15, Einsatz von PE-Materialien für Rohre, Schächte und Bauteile in Deponien. SKZ Testing GmbH Würzburg. 2017
- Informationsstelle Edelstahl Rostfrei. Merkblatt 829, Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen. Düsseldorf
- Kruse C.-L.; Korrosion in der Sanitär- und Heizungstechnik. Krammer Verlag Düsseldorf. 1991
- Läßle V. et al.: Werkstofftechnik Maschinenbau 1. Auflage. Europa Lehrmittel Verlag Haan-Gruiten. 2007
- Müller K.: Lehrbuch der Metallkorrosion. 2. Auflage. Eugen C. Leuze Verlag Salgau. 1975
- R-Tech Materials, Port Talbot, United Kingdom
- SN EN ISO 8044:2020-08: Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe
- SN EN 12502 (parties 1 à 4, 2005): Protection contre la corrosion de matériaux métalliques - Indications permettant d'évaluer la probabilité de corrosion dans les systèmes de distribution et de stockage de l'eau
- suissetec. Notice technique, Branchements d'immeuble et mise à terre. Mai 2019
- suissetec. Notice technique, Corrosion dans les installations de chauffage. Avril 2014
- SVGW. Notice technique, Corrosion par des éléments galvaniques dans la connexion de différents matériaux de conduites d'eau potable dans les installations domestiques. Février 2011

Wir verteilen Wasser

Die R. Nussbaum AG, 1903 gegründet, ist ein eigenständiges Schweizer Familienunternehmen, beschäftigt rund 500 Mitarbeitende und gehört zu den führenden Herstellern von Armaturen, Verteilsystemen und individuellen Gesamtlösungen im Bereich Sanitär- und Heiztechnik. Von unserem Hauptsitz in Olten aus vertreiben wir unser breites Produktsortiment über ein eigenes Filialnetz an Installierende in der ganzen Schweiz.

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an Ihren Installateur resp. Nussbaum. Dort erhalten Sie kompetente Auskunft über sämtliche Nussbaum Produkte.

Nous distribuons de l'eau

R. Nussbaum SA, entreprise familiale suisse indépendante fondée en 1903, emploie près de 500 collaborateurs et compte parmi les fabricants leaders de robinetteries, de systèmes de distribution et de solutions globales individuelles dans le domaine de la technique sanitaire et de chauffage. Depuis notre siège d'Olten, nous proposons un large assortiment de produits au travers de notre réseau de succursales et installateurs/trices dans toute la Suisse.

Pour plus d'informations, veuillez vous adresser à votre installateur resp. Nussbaum. Vous y recevrez des informations compétentes sur l'ensemble des produits Nussbaum.

Distribuiamo acqua

La società R. Nussbaum SA, fondata nel 1903, è un'azienda svizzera indipendente di proprietà familiare che impiega ben 500 dipendenti ed è tra i principali produttori di rubinetteria, sistemi di distribuzione e soluzioni integrali personalizzate nel settore della tecnica idrosanitaria e di riscaldamento. Dalla nostra sede sociale di Olten commercializziamo, attraverso la rete di succursali Nussbaum, la nostra ampia gamma di prodotti rifornendo installatrici e installatori in tutta la Svizzera.

Per ulteriori informazioni non esitate a rivolgervi al vostro installatore resp. Nussbaum. Qui riceverete informazioni competenti su tutti i prodotti della Nussbaum.



NUSSBAUM^{RN}

Gut installiert Bien installé Ben installato

Hersteller Armaturen und Systeme Sanitär- und Heiztechnik
Fabricant de robinetterie et systèmes de technique sanitaire et chauffage
Produttore di rubinetteria e sistemi di tecnica idrosanitaria e di riscaldamento
ISO 9001 / 14001 / 45001

Basel, Bern, Biel, Brig, Buchs, Carouge, Crissier, Giubiasco, Givisiez, Gwatt-Thun,
Kriens, Sion, Steinhausen/Zug, St. Gallen, Trimbach, Winterthur, Zürich

R. Nussbaum AG | SA
Hauptsitz | Siège social | Sede sociale

Martin-Disteli-Strasse 26
Postfach, CH-4601 Olten

062 286 81 11
info@nussbaum.ch

nussbaum.ch