

W6 f Edition 2024

ENSEMBLE DE RÈGLES

Directive

pour les réservoirs d'eau potable

Planification, étude de projet, construction, exploitation et maintenance de réservoirs

Complément 2 : Protection contre la corrosion

W6

W6 f Edition 2024

ENSEMBLE DE RÈGLES

Directive

pour les réservoirs d'eau potable

Planification, étude de projet, construction, exploitation et maintenance de réservoirs

Complément 2 : Protection contre la corrosion

IMPRESSUM

Les conditions générales de vente s'appliquent sous
www.svgw.ch/AGB

Copyright by SSIGE, Zurich
Impression : Zofinger Tagblatt
Tirage mars 2013 : 1400 exemplaires

Reproduction interdite

Disponible auprès du secrétariat de la SSIGE
(support@svgw.ch)

W6

TABLE DES MATIÈRES

1	Planification et exécution	5
1.1	Concept de base pour la protection contre la corrosion	5
1.2	Concept électrique de base	5
2	Corrosion des métaux	6
2.1	Termes	6
2.2	Réactions de corrosion	6
2.3	Potentiel de corrosion	6
2.4	Macroéléments	7
2.5	Vitesse de corrosion	7
2.6	Effet des flux de macroéléments	9
2.7	Aciers inoxydables	9
3	Mesures de protection	10
3.1	Conseils pour le choix des matériaux	10
3.2	Revêtements et enductions	10
3.3	Séparations galvaniques	10
4	Exemples	12
4.1	Traversée murale de tuyauterie	12
4.2	Tubes dans le réservoir en béton armé	12
4.3	Éléments d'installation électrique et commandes électriques sur des installations à séparation galvanique dans la zone du réservoir	12
4.4	Robinets en fonte dans les tuyauteries en acier inoxydable	12

1 Planification et exécution

1.1 Concept de base pour la protection contre la corrosion

La protection anticorrosion doit être adaptée aux exigences en matière de durée d'utilisation et de sécurité de fonctionnement. Il s'agit de trouver la solution la plus économique au cas par cas.

Il est essentiel que le concept de protection contre la corrosion soit établi suffisamment tôt (et pas seulement au moment de l'attribution du marché) et en même temps que le concept électrique de l'installation.

Lors de l'évaluation de la rentabilité, il ne faut pas seulement tenir compte des coûts d'investissement, mais aussi des coûts totaux pendant la durée d'utilisation prévue (investissement, entretien, coûts de réparation prévus). Ceux-ci doivent donc également figurer dans le concept de protection contre la corrosion et être clairement visibles pour le maître d'ouvrage.

1.2 Concept électrique de base

1.2.1 Mises à la terre

Dans les réservoirs d'eau potable, une électrode de terre de fondation avec les raccordements correspondants est réalisée conformément aux prescriptions de la norme SN 414113.

1.2.2 Equilibrage de potentiel

La compensation de potentiel a pour but de limiter les différences de tension (mise à la terre ou court-circuit entre des pièces conductrices d'électricité pouvant être touchées simultanément).

Toutes les parties conductrices étendues (tubes de plus de 3 m de long et surfaces métalliques de plus de 1 m²) doivent être intégrées dans la liaison équipotentielle conformément aux prescriptions d'installation à basse tension de l'ASE. Les grandes parties de l'installation peuvent être séparées galvaniquement pour des raisons de protection contre la corrosion si des mesures de protection supplémentaires sont respectées conformément à la "Directive STEP" de l'Inspection fédérale des installations à courant fort.

1.2.3 Protection contre la foudre

L'électrode de terre de fondation peut également être utilisée comme électrode de terre pour la protection contre la foudre, conformément aux prescriptions de la norme SN 414113.

2 Corrosion des métaux

2.1 Termes

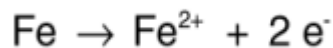
Le terme corrosion signifie détruire, ronger et est utilisé aussi bien pour les métaux que pour le béton. Les termes relatifs à la corrosion sont résumés dans la norme SN EN ISO 8044, partie 1.

On ne parle de dommage dû à la corrosion que lorsque le fonctionnement d'un élément ou d'un système entier est entravé par la corrosion et non pas lorsque les premiers signes de corrosion apparaissent.

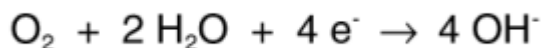
2.2 Réactions de corrosion

La réaction d'un matériau métallique avec son environnement est une réaction électrochimique à la surface du métal, avec oxydation (réaction anodique) et réduction (réaction cathodique) se déroulent simultanément.

À l'anode, les métaux sont oxydés en ions métalliques :



La réduction de l'agent attaquant, l'oxygène dissous dans l'eau, a pratiquement toujours lieu à la cathode :



Lorsque les zones anodiques et cathodiques se trouvent directement côte à côte, il se produit une érosion régulière et surfacique. Les métaux actifs tels que l'acier ou l'acier galvanisé présentent un tel comportement à la corrosion dans l'eau, à condition qu'il n'y ait pas de couches épaisses de rouille ou de dépôts. En revanche, lors de la corrosion de métaux passifs, les zones anodiques et cathodiques sont généralement séparées, comme par exemple lors de la corrosion par piqûres ou par fissures d'aciers inoxydables ou d'aluminium dans de l'eau contenant du chlorure.

2.3 Potentiel de corrosion

Le potentiel que prend un métal dans un environnement donné est appelé potentiel de corrosion. Il se situe entre les potentiels d'équilibre des deux réactions partielles qui provoquent la corrosion.

L'acier a un potentiel d'équilibre dans l'eau de -1'000 mV mesuré par rapport à une électrode de référence au sulfate de cuivre/cuivre (CSE). La réduction de l'oxygène dissous dans l'eau a un potentiel de +500 mVCSE. La différence de potentiel de 1,5 volt entre les deux réactions partielles est à l'origine du processus de corrosion.

Metall		E _k [mV _{CSE}]	
Stahl in Trinkwasser		-650	-450
Stahl in anaerobem Wasser		-950	-700
Nichtrostender Stahl in belüftetem Wasser		-200*	+100*
Bewehrungsstahl in Beton	Luft, Erdreich	-200*	0*
	In Wasser	-500	-200*
Verzinkter Stahl in belüftetem Wasser		-1'000	-800
Aluminium in belüftetem Wasser		-600*	-50 *

* im passiven Zustand

Tab. B 2.3 : Potentiels de corrosion typiques des métaux dans l'eau potable

2.4 Macroéléments

Un macro-élément est un élément galvanique. Le moteur du courant du macro-élément, et donc de l'attaque par la corrosion, est la différence de potentiel de corrosion entre différentes zones d'une structure métallique qui sont en contact métallique et électrolytique.

Deux macroéléments sont importants dans les réservoirs d'eau potable :

- le macro-élément avec cathodes étrangères
- l'élément d'aération

Un macro-élément avec une cathode étrangère est créé lorsque deux structures différentes ayant des potentiels de corrosion différents sont reliées par un métal et plongées dans le même électrolyte. C'est le cas d'une structure mixte, lorsque des pièces sont en acier inoxydable et en acier non allié ou lorsque des éléments encastrés en acier non allié sont en contact métallique avec l'armature de structures en béton. L'attaque de la corrosion par le courant de macroéléments se produit sur la structure métallique ayant le potentiel de corrosion le plus négatif (anode locale). La structure avec le potentiel de corrosion plus positif devient la cathode "étrangère".

Un élément d'aération se forme lorsqu'une partie de la surface du métal est recouverte de dépôts qui empêchent l'oxygène de pénétrer dans la surface du métal. L'anode locale dans l'élément d'aération se forme au potentiel de corrosion le plus négatif, c'est-à-dire à l'endroit où la concentration d'oxygène est la plus faible sous le dépôt.

2.5 Vitesse de corrosion

La diffusion de l'oxygène vers la surface du métal est déterminante pour la vitesse de corrosion des métaux actifs. Cette diffusion ne dépend pas seulement de la teneur en oxygène, mais aussi de la viscosité, de la température et des conditions d'écoulement. La vitesse de corrosion des métaux actifs dans l'eau potable est généralement faible ($\leq 0,1$ mm/an).

La vitesse de corrosion est encore beaucoup plus faible pour les métaux passifs et pour les métaux dont les produits de corrosion forment une couche protectrice peu soluble. Les métaux passifs forment à la surface un mince film d'oxyde (environ 3 nm pour les aciers inoxydables) qui est peu soluble dans l'eau et qui entrave donc fortement le déroulement

des réactions de corrosion. Un exemple de produit de corrosion peu soluble qui retarde fortement la corrosion est la couche protectrice de carbonate de zinc sur le zinc, respectivement sur les pièces en acier galvanisé.

Des taux de corrosion bien plus importants que ceux mentionnés ci-dessus apparaissent lorsque des courants continus sont appliqués à une structure métallique. La source de tels courants continus peut être des courants vagabonds de trajectoires de courant continu ; mais ils peuvent également se produire dans des macroéléments au sein d'une installation. Les attaques locales sur les matériaux passifs, telles que la corrosion par piqûres, la corrosion fissurante et la corrosion sous contrainte, donnent également naissance à des macroéléments dont le point d'attaque est une petite anode et le reste de la surface une cathode. De grands courants de corrosion peuvent s'échapper localement au niveau de l'anode, ce qui entraîne des vitesses de corrosion pouvant atteindre 2 mm par an.

L'enlèvement de métal à l'anode d'un macro-élément est directement proportionnel au flux de courant dans le macro-élément. Par mA, les quantités de métal dissoutes par an sont celles indiquées dans le tableau 2.5 :

Metall	Abtrag pro mA	
	g/Jahr	cm ³ /Jahr
Aluminium	2,90	1,08
Unlegierter Stahl/Gusseisen	9,13	1,16
Zink	10,69	0,98

Tableau B 2.5 : Enlèvement annuel de métal par mA de courant de macro-éléments

La densité du courant de sortie dans le macro-élément est déterminante pour la vitesse de corrosion (courant par unité de surface). La vitesse de corrosion dans le macro-élément peut être estimée à l'aide de la règle de la surface :

$$v_a = v_a^0 \frac{F_a + F_k}{F_a} \quad [\text{mm/a}]$$

- v_a : Korrosionsgeschwindigkeit der Anode im Makroelement
- v_a^0 : Korrosionsgeschwindigkeit des die Anode bildenden Metalls ohne Makroelementeinfluss
- F_a : Fläche der Anode
- F_k : Fläche der Kathode

Il résulte de la règle de la surface que de grandes vitesses de corrosion ne se produisent que lorsque de petites anodes sont reliées à de grandes cathodes. Des densités de courant dangereusement élevées apparaissent en particulier lorsque le courant sortant se concentre sur de petites surfaces, par exemple sur des structures en acier revêtues qui présentent des blessures ou des défauts dans le revêtement.

2.6 Effet des flux de macroéléments

Dans le macro-élément, un flux d'électrons circule dans le métal de la cathode vers l'anode et un flux d'ions circule entre la cathode et l'anode. Les cations chargés positivement circulent de l'anode vers la cathode et les anions chargés négativement circulent vers l'anode. Ce courant ionique peut alors provoquer différents effets sur son trajet :

- Au niveau de l'anode, l'électrolyte devient de plus en plus agressif en raison de l'enrichissement en anions agressifs. La dissolution du métal se concentre donc sur les zones anodiques primaires. Il en résulte des attaques locales en forme de cratères.
- Dans la zone de la cathode (par exemple l'acier inoxydable), l'enrichissement en cations et les produits de réaction de la réaction partielle cathodique créent une solution alcaline à la surface. Dans certaines eaux, des calcifications de couleur grise à brunâtre peuvent donc apparaître sur ces surfaces.
- Lorsque le courant ionique passe entre l'anode (par exemple une conduite d'eau enterrée) et la cathode (par exemple des éléments inoxydables dans le réservoir ou des armatures dans les murs en béton du réservoir), des ions Ca^{+2} sont transportés dans l'eau lors de la sortie du courant du béton ou du mortier dans l'eau du réservoir. Si le béton ou le mortier contient des pores remplis d'eau (conductivité environ 100 x supérieure à celle du béton ou du mortier adjacent), une grande partie du courant passe par ces pores remplis d'eau, ce qui entraîne l'élimination du calcium de ces pores et, avec le temps, la formation de trous dans le mortier ou le béton.

2.7 Aciers inoxydables

Ces aciers sont appelés aciers inoxydables parce qu'ils ne rouillent pas dans l'eau. Dans l'eau potable, on utilise surtout des aciers inoxydables de la classe de résistance à la corrosion II (p. ex. 1.4301 ou 1.4306) ou III selon SN EN 1993-1-4/A1:2015 (p. ex. 1.4404 ou 1.4571).

Ces aciers doivent leur résistance à un mince film d'oxyde difficilement soluble, d'une épaisseur de seulement 3 nm environ, qui peut se reformer (se repasser) dans l'eau ou dans l'air. Ce film peut être attaqué localement par de petites traces de chlorure dans les fentes dues à la construction (corrosion en fentes) ou, en cas de concentrations de chlorure un peu plus importantes, également sur les surfaces (corrosion par piqûres).

Les aciers inoxydables de la classe de résistance à la corrosion II sont résistants à la corrosion par piqûres dans l'eau potable froide jusqu'à 200 mg de chlorure par litre, mais pas à la corrosion cavernueuse. Les aciers inoxydables de la classe de résistance à la corrosion III sont résistants dans l'eau potable.

Pour garantir la résistance des aciers inoxydables, il est important de procéder à une mise en œuvre soignée et à une finition propre des soudures (pas de rayures, pas de couches de calamine). En cas de doute, il vaut la peine de faire appel à un spécialiste de la corrosion pour évaluer la qualité de la finition.

3 Mesures de protection

3.1 Conseils pour le choix des matériaux

En principe, il faut utiliser des matériaux dont la résistance à la corrosion dans les conditions d'attaque données est suffisante pour qu'aucun dommage dû à la corrosion n'apparaisse pendant la durée d'utilisation prévue.

La combinaison de différents matériaux métalliques entraîne dans de nombreux cas un risque de corrosion par formation de macro-éléments (voir aussi SSIGE W10018).qui nécessitent d'autres mesures de protection, telles que : séparation galvanique ou protection cathodique. Les constructions mixtes composées de différents matériaux métalliques présentant des potentiels de corrosion différents doivent donc être évitées dans la mesure du possible.

Si les installations mixtes ne peuvent pas être évitées, il faut veiller à ce que le nombre de séparations galvaniques nécessaires soit le plus faible possible. Il convient d'en tenir compte par une disposition appropriée des pièces en différents matériaux.

3.2 Revêtements et enductions

Les revêtements servent physiquement de barrière entre le matériau et l'agent d'attaque. Les revêtements suivants sont importants pour l'eau potable :

- les revêtements métalliques, par exemple la galvanisation à chaud
- les revêtements inorganiques non métalliques, par exemple l'émaillage
- revêtements organiques, par exemple revêtement en résine époxyde

La qualité des revêtements dépend en grande partie du traitement préalable et de l'exécution des travaux. Il est recommandé, dans la mesure du possible, d'effectuer les travaux en atelier et de réduire au minimum le revêtement sur place.

Les exigences minimales pour les revêtements doivent être convenues et les méthodes d'essai ainsi que les conditions de réception doivent être définies. L'expérience montre que dans le domaine de l'eau, il faut respecter des épaisseurs de couche minimales pour les revêtements organiques de $> 300 \mu\text{m}$.

3.3 Séparations galvaniques

3.3.1 Principe

Les dommages causés par la formation de macroéléments avec des cathodes étrangères peuvent en principe être évités en séparant galvaniquement les pièces ayant des potentiels de corrosion différents.

Dans le cas de la protection cathodique classique, une séparation galvanique est nécessaire entre les parties à protéger et le reste de l'installation afin d'éviter que le courant de protection ne s'écoule dans les parties voisines de l'installation.

3.3.2 Exécution des séparations galvaniques

Si des séparations galvaniques sont effectuées, il faut veiller à ce qu'elles soient complètement séparées du reste de l'installation.

Intercalaires isolants et brides isolantes

Elles peuvent être utilisées pour toutes les séparations accessibles et contrôlables, à l'exception des cas particuliers décrits dans le paragraphe suivant "Pièces isolantes et morceaux de tuyaux isolants". Les raccords vissés entre les pièces à séparer doivent être isolés (de préférence) au moyen de douilles en plastique (pour les passages de vis) et de rondelles. Les gaines thermorétractables sont susceptibles de provoquer des blessures lors du montage ; leur utilisation entraîne donc souvent des taux d'erreur élevés.

Pièces isolantes et morceaux de tuyaux isolants

Les pièces isolantes peuvent être des morceaux de tuyaux en plastique, en fibrociment ou des tuyaux en acier revêtus à l'intérieur et à l'extérieur (en combinaison avec des brides isolantes). Leur longueur doit être égale à au moins cinq fois le diamètre du tube, mais au moins 50 cm. Cette exigence s'applique également aux pièces d'isolation entre les parties de l'installation protégées par cataphorèse et les parties non protégées par cataphorèse.

Pièces alimentées électriquement dans des zones isolées

Pour empêcher le pontage de la séparation galvanique entre les structures métalliques via le conducteur de protection, il faut empêcher le flux de courant de macro-éléments dans le conducteur de protection. Pour ce faire, les possibilités suivantes sont disponibles :

- Transformateurs d'isolement
- Disjoncteur différentiel (FI), éventuellement avec mise à la terre spéciale du côté secondaire
- Unités de délimitation (cellules de polarisation, diodes antiparallèles)
- utilisation d'appareils à isolation protectrice.

Les possibilités d'exécution technique sont décrites en détail dans la "Directive STEP" de l'Inspection fédérale des installations à courant fort.

Contrôle

Les séparations galvaniques doivent être contrôlées périodiquement. Les séparations situées en dehors de la chambre à eau peuvent être contrôlées au moyen de mesures de résistance électrique ainsi que de mesures de différence de tension.

Les séparations galvaniques à l'intérieur de la chambre à eau doivent être soumises à un contrôle visuel au moins à chaque fois que le réservoir est vidé (des traces de rouille peuvent indiquer une isolation défectueuse).

3.3.3 Protection cathodique contre la corrosion (KKS)

Le principe de la protection cathodique consiste à empêcher la réaction anodique partielle du processus de corrosion, la dissolution du métal, en mettant à disposition des "électrons étrangers" pour la réduction de l'agent d'attaque, l'oxygène.

Dans le cas de la protection cathodique, ce processus s'effectue en dirigeant les électrons sur la pièce à protéger via un redresseur et des anodes inertes ou directement à partir d'anodes sacrificielles, où ils transforment l'agent d'attaque O₂ en OH⁻ anti-corrosif. Le potentiel de la pièce à protéger est ainsi abaissé. L'augmentation visée du pH (augmentation de la concentration en OH⁻) est atteinte pour les pièces en acier au carbone lorsqu'un potentiel de -850 mVCSE est présent à la limite de phase métal/électrolyte.

Une condition préalable à l'applicabilité de la protection cathodique contre la corrosion est la conductivité longitudinale continue de la structure à protéger et, dans le cas d'une exécution conventionnelle, la séparation galvanique avec d'autres structures métalliques. Si cette séparation n'est pas possible, la protection cathodique "locale" peut être utilisée.

4 Exemples

Les phénomènes de corrosion décrits dans les chapitres précédents et les mesures de protection possibles sont expliqués ci-après à l'aide d'exemples typiques tirés de la pratique.

4.1 Traversée murale de tuyauterie

Les traversées de murs en béton doivent être réalisées au moyen de pièces de traversée en acier inoxydable (Matériaux avec classe de résistance à la corrosion III), munies de brides des deux côtés. Ces pièces de tuyau ne doivent pas être en contact avec l'armature. Si les conduites qui se prolongent sont en acier non allié ou en fonte et qu'elles ne sont pas incluses dans la compensation de potentiel (p. ex. dans le sol ou immergées dans l'eau), les raccords à brides doivent être réalisés sous forme de brides isolantes.

Pour les traversées enterrées en acier inoxydable, une séparation complète avec le sol est impérative. Celle-ci peut être obtenue par des bandes de protection contre la corrosion.

4.2 Tubes dans le réservoir en béton armé

Tubes en acier inoxydable

Il convient d'utiliser de préférence des tubes austénitiques de la classe de résistance à la corrosion III. Afin d'éviter l'entartrage de la surface des tuyaux, la bride entre le passage mural et le tuyau dans le réservoir doit être conçue comme une bride isolante.

Tubes en acier non allié revêtu ou en acier galvanisé

Afin d'éviter toute attaque par les flux de macroéléments sur les tubes dans le réservoir, la bride entre la traversée murale en acier inoxydable et les tubes doit être conçue comme une bride isolante.

Tubes en plastique

Les tuyaux en plastique (par ex. PE) peuvent être directement raccordés à la bride de la traversée murale en acier inoxydable.

4.3 Éléments d'installation électrique et commandes électriques sur des installations à séparation galvanique dans la zone du réservoir

Afin d'empêcher le courant du macro-élément de passer par le conducteur PEN et la compensation de potentiel entre deux éléments séparés galvaniquement par une bride isolante, il faut :

- Alimentation de l'installation électrique par un transformateur d'isolement
- Alimentation de l'installation électrique par un disjoncteur différentiel (FI)
- Alimentation de l'installation électrique via une unité de délimitation dans le conducteur de protection.

4.4 Robinets en fonte dans les tuyauteries en acier inoxydable

Si des armatures en fonte ou des armatures en fonte revêtues sont montées dans des conduites en acier inoxydable, elles sont menacées par la formation de macroéléments.

Les armatures doivent être séparées galvaniquement des conduites en acier inoxydable par des brides isolantes et ainsi être protégées. Pour les armatures à commande électrique, le flux de courant des macroéléments dans le conducteur de protection peut être empêché par les mesures décrites au paragraphe 4.3.