

GUIDE TECHNIQUE

QUALITÉ DE L'EAU

DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE
DANS LES BÂTIMENTS TERTIAIRES
& LES IMMEUBLES D'HABITATION

TABLE DES MATIÈRES

PAGE	CHAPITRE ET TITRE
4	PRÉFACE
6	AVANT-PROPOS
7	LES SPÉCIFICITÉS FRANÇAISES
8	1. LES PRINCIPALES PATHOLOGIES EN L'ABSENCE D'UNE EAU DE QUALITÉ SATISFAISANTE
8	1.1 Quels sont les désordres principaux à traiter et prévenir ?
8	1.1.1 Corrosion
9	1.1.2 Entartrage
10	1.1.3 Embouage
11	1.1.4 Développement bactérien et biofilm
12	1.2 Tolérance des matériaux au pH, sulfates, chlorures et aération
12	1.2.1 pH selon la nature des matériaux à l'état naturel (sans traitement)
12	1.2.2 Phénomène de montée du pH sur les circuits de chauffage
12	1.2.3 Tolérance des matériaux vis-à-vis des chlorures et des sulfates
13	1.2.4 Aération des réseaux
13	1.3 Quelles sont les principales qualités d'eau rencontrées en France ?
14	2. LA PRÉVENTION DES DÉSDORDRES
15	2.1 Recommandation sur l'installation de chauffage
15	2.2 Audit préalable
16	2.3 Qualité d'eau
16	2.3.1 Eau de remplissage
16	2.3.2 Eau d'appoint
17	2.3.3 Eau de circuit
18	3. GLOSSAIRE

25 | **ANNEXE A :**
RÉGLEMENTATIONS ET NORMES APPLICABLES

26 | **ANNEXE B :**
ACTION DE L'EAU SUR LES MATÉRIAUX

26 | **1. Entartrage et incrustations**

26 | **2. Éléments générateurs de tartre**

26 | 2.1 Le carbonate de calcium

27 | 2.2 Le sulfate de calcium

27 | 2.3 La silice

28 | **3. Effets de dépôts de tartre**

29 | **4. Protection contre les tartres carbonatés**

30 | **5. Les corrosions**

30 | 5.1 Mécanismes et causes des corrosions

30 | 5.2 Dissolution des métaux dans l'eau

32 | 5.3 Corrosion par l'oxygène

32 | 5.4 Aération différentielle

33 | 5.5 Action des chlorures

33 | 5.6 Action des sulfates

33 | 5.7 Corrosion par les caustiques

33 | 5.8 Corrosion par les organismes vivants

34 | 5.9 Corrosion par piles bimétalliques

35 | **6. Comportement des métaux usuels vis-à-vis de la corrosion**

35 | 6.1 Acier au carbone ou acier noir

35 | 6.2 Fonte

35 | 6.3 Zinc, acier galvanisé

36 | 6.4 Cuivre et ses alliages

38 | 6.5 Aluminium

38 | 6.6 Aciers spéciaux (aciers inoxydables)

39 | **7. Phénomène d'élévation du pH en circuit de chauffage**

40 | **ANNEXE C :**
FICHE PRATIQUE – RELEVÉ D'INSTALLATION DE CHAUFFAGE



François FRISQUET
Président UNICLIMA



Fabrice LETENEUR
Président SYPRODEAU

« Traiter l'eau c'est rendre l'installation durable »

Le traitement d'eau des réseaux techniques existe depuis plus d'un siècle.

L'enjeu de nos guides techniques est de recenser les problématiques et solutions telles que connues lors de leur rédaction pour traiter les réseaux de chauffage et de climatisation.

La prise de conscience de l'importance du traitement des eaux de chauffage, de climatisation et de réfrigération est bien réelle, que ce soit chez les opérateurs et donneurs d'ordres, les maîtres d'ouvrage, les Cmlstes*, les bailleurs sociaux, les entreprises chargées de la maintenance ou les installateurs.

Les traitements d'eau sont nécessaires afin d'offrir les performances annoncées des installations mises en place.

Traiter l'eau c'est bien évidemment protéger l'installation, maintenir son efficacité, et la rendre durable. À l'heure où la protection de la santé et de l'environnement est un objectif prioritaire retenu dans le cadre de la démarche RSE, et aussi un moyen de communiquer pour afficher une image responsable, il est plus que jamais nécessaire d'agir en amont pour assurer la durabilité des installations.

Bien que le message soit passé, l'effort doit être maintenu et les actions de communication et de formation sont à poursuivre et amplifier.

INCITER ET INFORMER

En qualité de syndicats professionnels, notre volonté n'est pas de contraindre ou d'imposer un cadre réglementaire, mais bien d'inciter et d'informer l'ensemble des acteurs pour démocratiser le traitement, que ce soit dans l'industrie, le tertiaire ou le résidentiel. Agir de façon préventive et non plus curative reste donc le défi à relever.

Ce guide, fruit des travaux menés conjointement par le SYPRODEAU et UNICLIMA, a pour objectif de mettre en exergue l'apport du traitement de l'eau en matière de performance énergétique et de pérennité des installations.

Sa vocation est de conduire les professionnels à une maîtrise du traitement de l'eau appliquée aux circuits chauds et froids, au travers de références, de conseils, des bonnes pratiques et de bon sens.

(*) Constructeurs de maisons individuelles



AVANT-PROPOS

Le Guide Technique « Qualité de l'eau des installations de chauffage dans les bâtiments tertiaires et immeubles d'habitation » a été rédigé par un groupe de travail intersyndical composé de membres experts du Comité Gaz-Fioul et Radiateurs à eau d'UNICLIMA et du Groupe de travail « Efficacité Énergétique » du SYPRODEAU.

Le recueil a pour objet de définir un référentiel de qualité de l'eau dans les installations de chauffage collectif des bâtiments tertiaires et des immeubles d'habitation.

Ce référentiel présente :

- ▶ Des pathologies liées à l'eau dans les installations de chauffage à eau dont la température est inférieure ou égale à 110 °C.
- ▶ Les principaux éléments techniques à considérer pour assurer une qualité d'eau satisfaisante sur ces installations.



IMPORTANT *Ce référentiel ne se substitue pas aux conditions générales de vente et aux notices établies par les fabricants des appareils.*


REMERCIEMENTS

Le Guide Technique « **Qualité de l'eau des installations de chauffage dans les bâtiments tertiaires et immeubles d'habitation** » est un ouvrage publié conjointement par UNICLIMA – Syndicat des industries thermiques, aérauliques et frigorifiques et par le SYPRODEAU – Syndicat national des fabricants de produits chimiques de traitement et d'assainissement de l'eau.

Merci aux membres experts du Groupe de travail intersyndical « Comité Gaz-Fioul et Radiateurs à eau » d'UNICLIMA et « Efficacité énergétique » du SYPRODEAU pour leur participation active à la rédaction du livret.

- ▶ Retrouvez-les sur les sites : uniclima.fr et syprodeau.org

Le SYPRODEAU et UNICLIMA ne seront pas tenus pour responsables de l'utilisation, de l'interprétation et/ou de l'application qui sera faite de ce document. Tout dommage résultant directement ou indirectement de l'utilisation du présent document sera supporté exclusivement par son utilisateur.

Création :  AGENCE DE COMMUNICATION ET RP

Crédits photos : BWT, Dipan France, Sentinel Performance Solutions, Syprodeau, Uniclimate, Viessmann.

1^{ère} édition, juillet 2020.

LES SPÉCIFICITÉS FRANÇAISES

En France, une grande majorité des installations thermiques dans le collectif résulte de programmes de rénovation d'installations existantes, pour ne pas dire « anciennes ».

Quelle que soit la puissance des générateurs concernés ou la nature des émetteurs et des conduites, la qualité du fluide caloporteur est dépendante de multiples facteurs préexistants auxquels le professionnel installateur ou exploitant doit s'adapter. Si elle apparaît plus simple, une installation neuve devra également intégrer une approche adaptée du fluide caloporteur. Celui-ci étant majoritairement composé d'eau, que ce soit dans la rénovation ou dans le neuf, il faudra maîtriser la qualité de l'eau de remplissage des réseaux et s'assurer de la maintenir de manière optimale dans le temps.

En l'absence de norme européenne ou française concernant les procédés de traitement d'eau des circuits thermiques fermés, il est important de garder à l'esprit l'obligation de conseil du « sachant » qui est le professionnel en charge de l'installation et de la maintenance du réseau.

La France possède un réseau d'approvisionnement en eau complexe et divers (géographie, géologie, démographie, etc.). La qualité des eaux est par conséquent très différente d'une région à l'autre, d'une ville à l'autre, d'un quartier à l'autre. De plus, des éléments climatiques peuvent modifier les caractéristiques de l'eau dans le temps. Si l'eau est traitée et contrôlée par les fournisseurs d'eau potable de sorte qu'elle soit parfaitement propre à la consommation, il n'en reste pas moins que de nombreuses différences de compositions subsistent entre les sites de puisage.

Cette hétérogénéité crée la nécessité d'actions méthodiques et spécifiques de la part du professionnel du génie climatique. Si ces actions sont menées avec rigueur, les bénéfices seront de trois types :

- ▶ Pérennité des éléments composant le circuit thermique.
- ▶ Maintien de l'efficacité énergétique du système.
- ▶ Confort des usagers.

1 LES PRINCIPALES PATHOLOGIES EN L'ABSENCE D'UNE EAU DE QUALITÉ SATISFAISANTE

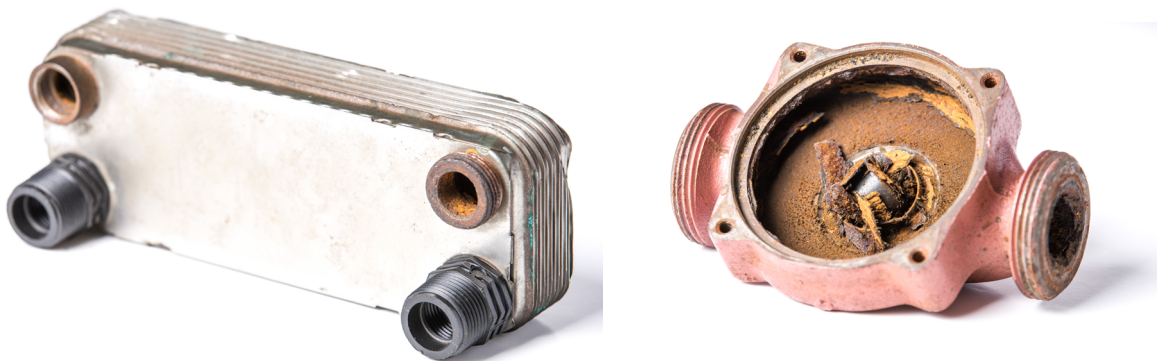
1.1 Quels sont les désordres principaux à traiter et prévenir ?

1.1.1 Corrosion

Il existe différents types de corrosion : la corrosion par l'oxygène, la corrosion acide, la corrosion galvanique, la corrosion sous dépôt, la corrosion par piqûres, la corrosion par érosion, la corrosion sous contrainte, la corrosion bactérienne.

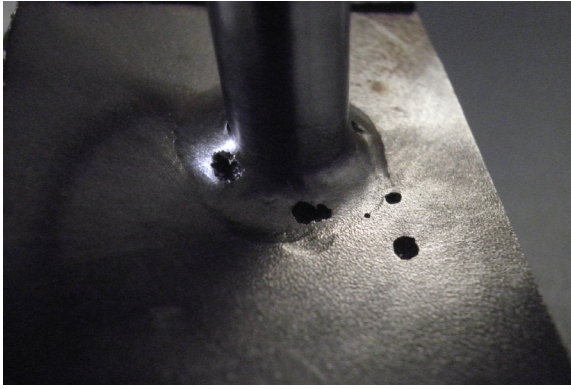
Elles concernent principalement les matériaux métalliques et témoignent de leur tendance naturelle à revenir à leur état stable oxydé. Ces corrosions fragilisent les métaux et chargent l'eau de particules qui peuvent au fil du temps constituer des « boues métalliques » qui limiteront les échanges thermiques et entraîneront des réactions en chaîne pouvant amener au percement des éléments métalliques du circuit ou au blocage de ses éléments mobiles.

CORROSION GÉNÉRALISÉE SUR CORPS DE CHAUFFE (À GAUCHE) ET D'UN CIRCULATEUR (À DROITE)



CORROSION PERFORANTE SUR RADIATEURS EN ACIER VUE EXTÉRIEURE (À GAUCHE) ET VUE INTÉRIEURE (À DROITE)





1.1.2 Entartrage

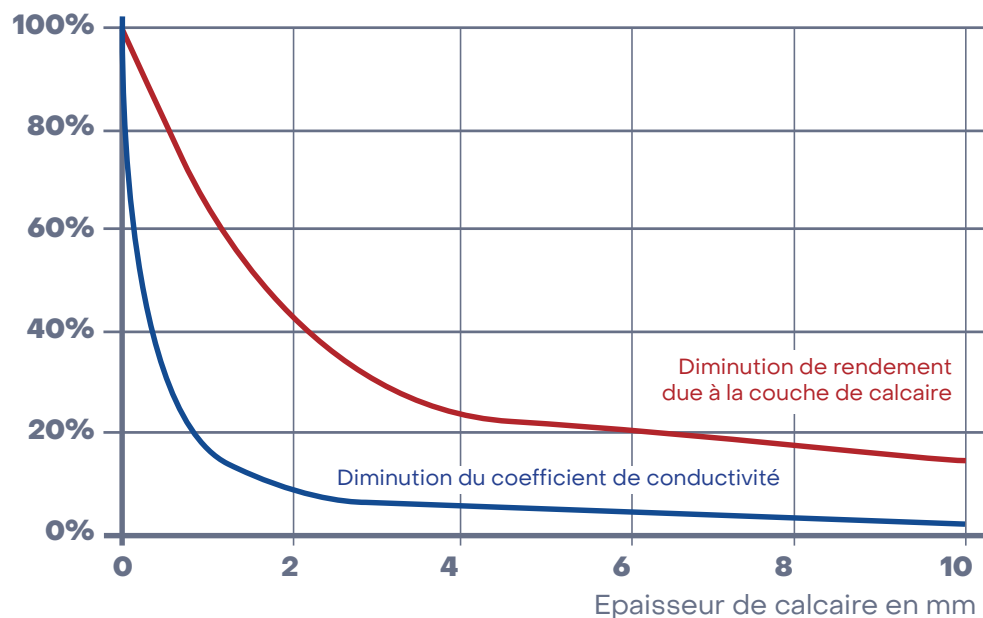
Il est lié à la dureté de l'eau (ou titre Hydrotimétrique TH exprimé en degré français). Les eaux potables ont des différences importantes de potentiel d'entartrage en fonction de leur teneur en calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}).

La précipitation de ces éléments (calcaire ou carbonate de calcium) étant accélérée par la hausse de la température, on retrouvera principalement cet entartrage sur les parties les plus chaudes du système (corps de chauffe) avec pour effet une perte d'échange thermique importante, la génération de bruits et des risques de surchauffe des métaux pouvant dans certains cas provoquer une « casse » du corps de chauffe.

TUYAUTERIES ENTARTRÉES



RENDEMENT
ET COEFFICIENT
DE CONDUCTIVITÉ
EN FONCTION
DE L'ENTARTRAGE



1.1.3 Embouage

Les particules boueuses présentes dans l'eau en circulation n'ont que très rarement pour origine l'eau utilisée pour remplir le circuit fermé ou l'eau ajoutée pour compenser les pertes normalement très faibles.

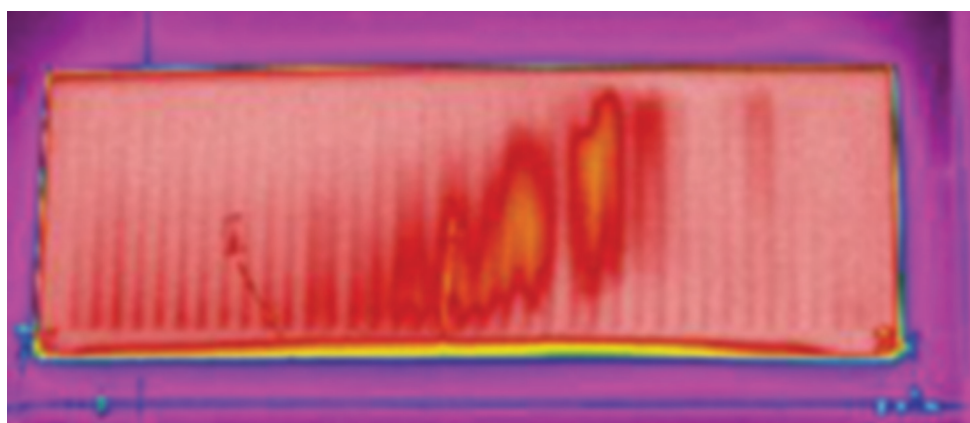
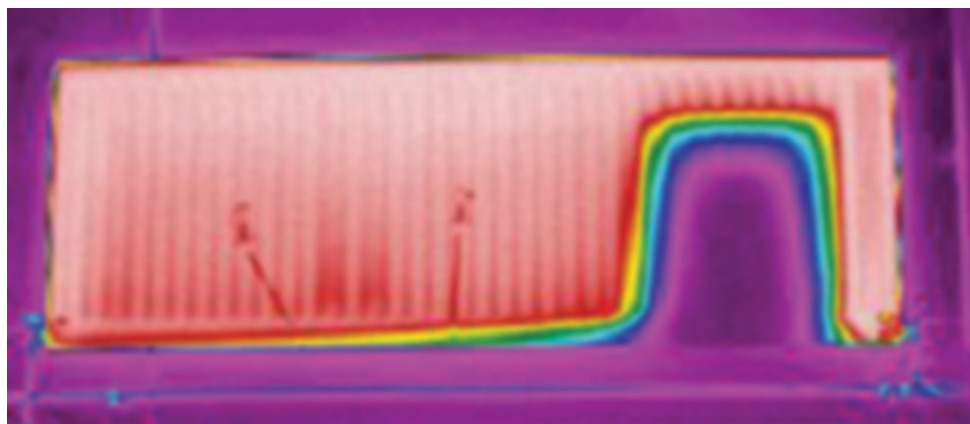
En règle générale, les boues recueillies dans les installations de chauffage sont principalement composées de produits de corrosion du fer, associés à du calcaire (tartre), dans le cas d'utilisation d'eau dure.

Du fait de l'utilisation croissante des matériaux synthétiques, de l'aération des réseaux (entrée d'oxygène) et de la baisse des températures de l'eau de chauffage, apparaît un phénomène d'embouage lié à des matières organiques provenant de la prolifération de bactéries, d'algues ou de moisissures dans les éléments du système.

Ces particules peuvent provoquer le bouchage du corps de chauffe de la chaudière et des organes mobiles (vannes, circulateurs). En décantant dans les émetteurs (planchers chauffants, radiateurs...) et points bas de l'installation, les boues, très mauvaises conductrices de chaleur, diminuent la performance thermique de l'installation.

THERMOGRAPHIES DE RADIATEURS.

LA PRÉSENCE DE BOUES EN FOND DE RADIATEUR EST MISE EN ÉVIDENCE PAR UNE HÉTÉROGÉNÉITÉ DES TEMPÉRATURES (EN HAUT). EN L'ABSENCE DE BOUES, LA TEMPÉRATURE DE CHAUFFE EST HOMOGENÈME (EN BAS)



BOUES RECCUEILLIES LORS D'UN NETTOYAGE DE RÉSEAU (À GAUCHE).
BOUES SUR BOUGIES MAGNÉTIQUES (À DROITE)

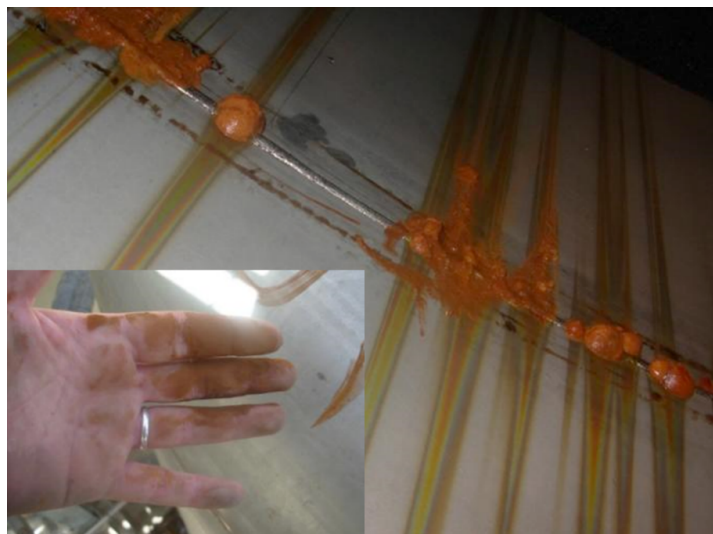


1.1.4 Développement bactérien et biofilm

Les bactéries se développent en constituant des réseaux filamenteux (biofilm) susceptibles de limiter la circulation et l'échange thermique. Ce biofilm peut également obturer des éléments du circuit (filtres par exemple) et mettre en défaut l'installation.

De plus, un grand nombre de bactéries produisent des acides minéraux ou organiques dans le cadre de leur métabolisme. La baisse de pH qui en résulte peut provoquer une accélération de la corrosion par des processus chimiques.

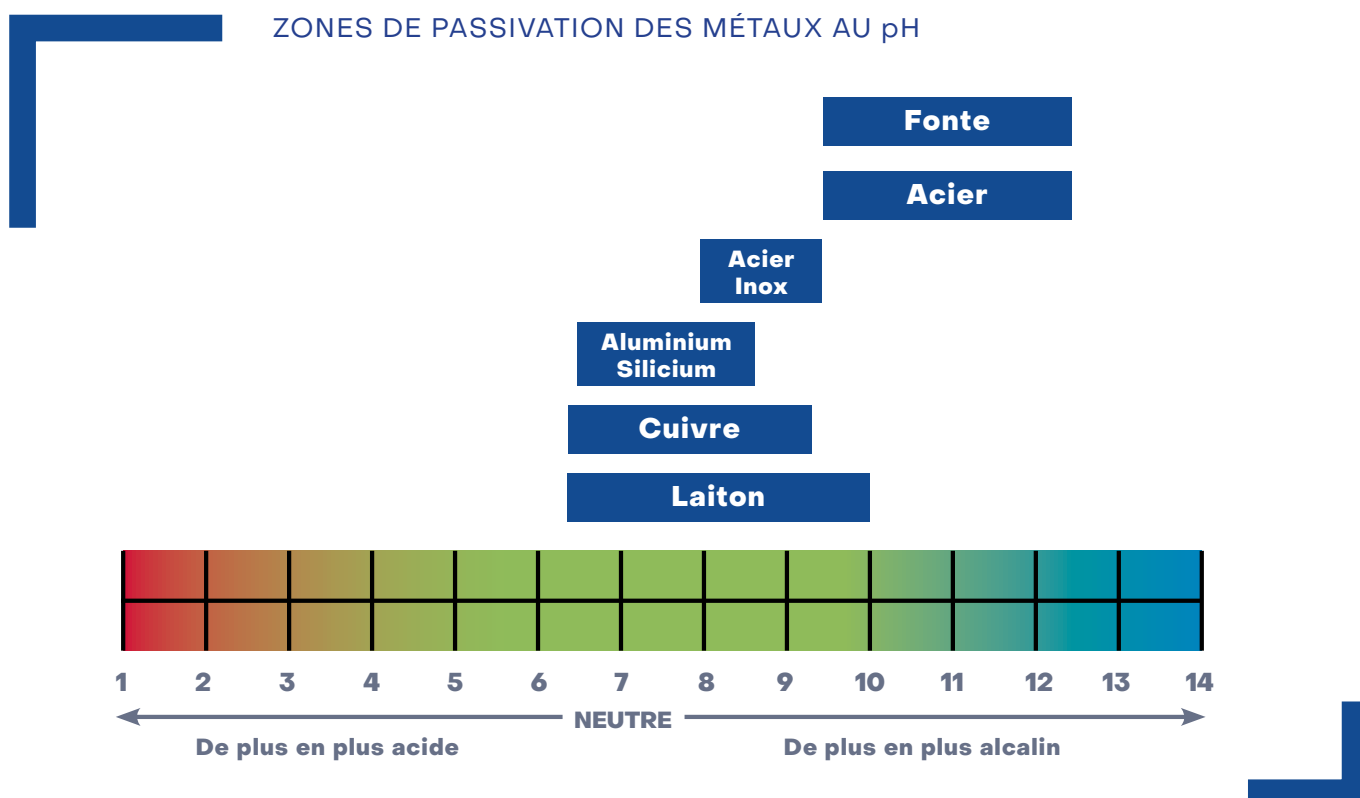
DÉVELOPPEMENT DE BIOFILM SUR CIRCUIT BASSE TEMPÉRATURE
(À GAUCHE) ET CORROSION BACTÉRIENNE SUR SOUDURE (À DROITE)



1.2 Tolérance des matériaux au pH, sulfates, chlorures et aération

Il est également à noter que certains matériaux ont une tolérance spécifique au potentiel d'hydrogène de l'eau (pH) qui détermine son niveau d'acidité ou d'alcalinité. Au-delà de ces limites, le métal va se corroder.

1.2.1 pH selon la nature des matériaux à l'état naturel (sans traitement)



1.2.2 Phénomène de montée du pH sur les circuits de chauffage

Selon les qualités d'eau rencontrées (eau dure, eau adoucie ou eau déminéralisée) ainsi que les traitements d'eau appliqués (adoucissement, déminéralisation), il est fréquent de constater un phénomène d'élévation de la valeur de pH dans l'eau de chauffage (**Cf. Chapitre 5.7, annexe B - corrosion par les caustiques, p 33**).

1.2.3 Tolérance des matériaux vis-à-vis des chlorures et des sulfates

Les sulfates et chlorures, naturellement présents dans l'eau d'appoint, peuvent avoir des effets néfastes entraînant notamment des piqûrations. La piqûration est un phénomène de corrosion localisée qui entraîne à terme la perforation de la pièce et sa fragilisation. C'est en fait une corrosion galvanique localisée influencée par le milieu où se trouve le métal et par la composition de l'alliage.

1.2.4 Aération des réseaux

L'oxygène présent dans l'eau de chauffage constitue un puissant vecteur de corrosion par l'oxydation des métaux.

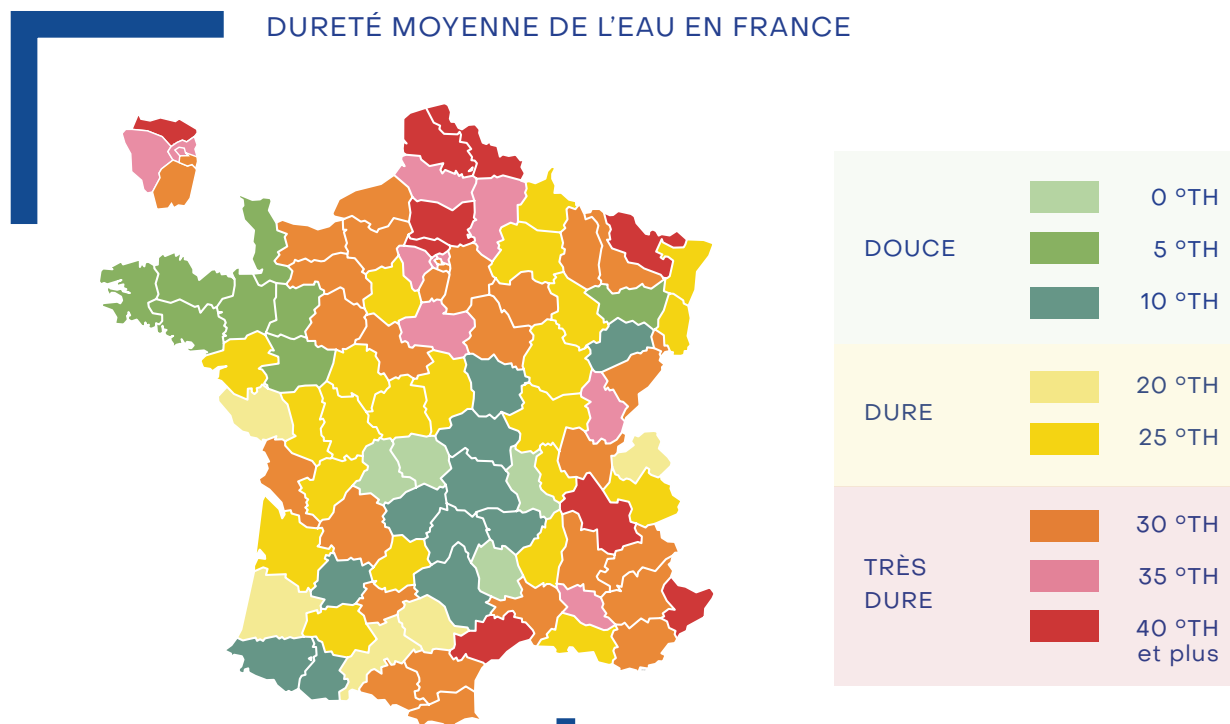
Cette aération participe également à la prolifération des boues organiques.

Une attention particulière doit être portée à la maîtrise de la non-aération des installations de chauffage et notamment vis-à-vis de l'expansion et des matériaux synthétiques utilisés.

1.3 Quelles sont les principales qualités d'eau rencontrées en France ?

Au cours de son trajet en surface (rivières, lacs...), l'eau s'équilibre avec l'atmosphère, se charge en divers éléments, ce qui peut modifier peu à peu ses caractéristiques initiales. En France, on distingue principalement deux types d'eaux :

- ▶ Les eaux entartrantes dont le TH sera compris entre 20 °f et 50 °f (dure à très dure). Elles seront généralement considérées comme faiblement corrosives mais occasionneront un entartrage important. Elles pourront contenir par ailleurs des ions contribuant à une corrosion dans certaines conditions (chlorures, sulfates).
- ▶ Les eaux agressives ou corrosives dont le TH sera compris entre 5 °f et 20 °f (très douce à moyennement dure).



NOTE Illustration donnée à titre indicatif.

IMPORTANT Le TH peut évoluer et être fortement différent dans un même département : se renseigner localement sur le TH de l'eau auprès du distributeur.

2 LA PRÉVENTION DES DÉSORDRES

Par définition, les réseaux d'eau de chauffage sont constitués :

- ▶ D'un fluide caloporteur (l'eau le plus souvent).
- ▶ De matériaux divers et variés :
 - des métaux, constitutifs des générateurs, des émetteurs de chaleur, des canalisations, des vannes, de la robinetterie et autres organes de régulation ;
 - des matériaux plastiques, constitutifs des canalisations ;
 - des joints et autres raccords.

Ce sont des réseaux fermés.

L'association de l'eau avec ces matériaux, métalliques ou non, engendre, en l'absence d'une eau adéquate, des désordres inhérents aux propriétés intrinsèques de l'eau. On parle alors de corrosion, d'embouage, d'entartrage, de développement bactérien.

Tous ces phénomènes, qui dégradent la durabilité des réseaux, réduisent la performance énergétique et amoindrissent le confort d'usage. Ils sont dommageables aux installations. À titre d'exemple, la conductivité thermique de différents métaux, des boues et du calcaire est définie dans le tableau ci-après :

LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE SELON LES MATÉRIAUX

Matériaux	Conductivité thermique (en W/m.K)
Acier	46
Acier Inox	26
Aluminium Silicium	100 à 200
Cuivre	390
Fonte	50
Boues*	1,0 à 2,0*
Calcaire (carbonate de calcium)	0,5 à 1,5

(* Estimation)

Ces phénomènes naturels, liés aux propriétés de l'eau, sont pourtant évitables en anticipant et en prévoyant des mesures spécifiques. Les premiers réflexes à acquérir pour tous les circuits de chauffage sont décrits ci-après.

2.1 Recommandation sur l'installation de chauffage

Certaines actions ou certains équipements sont indispensables à la bonne conduite de l'installation de chauffage.

Le professionnel devra être attentif à :

- ▶ Intégrer à la conception de l'installation deux points de prélèvement de l'eau permettant à l'exploitant d'effectuer des analyses d'eau à chaque fois que cela s'avèrera nécessaire : un sur l'appoint, un sur la boucle de chauffage.
- ▶ Intégrer un compteur d'eau pour mesurer la quantité d'eau injectée dans l'installation lors du remplissage et par la suite de comptabiliser les appoints. Ces données doivent être consignées dans le livret de chaufferie ou tout autre document consultable sur site.
- ▶ Intégrer un dispositif mécanique permettant de retenir les boues de l'installation.
- ▶ Bien dimensionner le vase d'expansion sur l'installation, en particulier lors de la rénovation d'une chaufferie. Il convient de ne pas sous-estimer la capacité en eau de l'installation de chauffage.
- ▶ Intégrer un dégazage efficace de l'installation.
- ▶ Contrôler l'homogénéité des matériaux constitutifs de l'installation.

2.2 Audit préalable

Les réseaux existants sur lesquels le professionnel interviendra doivent faire l'objet d'un état des lieux préalable (audit) qui permettra de mener des actions correctives si l'installation présente des défauts. Il sera important de noter les résultats de cet audit sur une fiche d'audit préalable. **Cette fiche pratique « Relevé d'installation de chauffage » est proposée en Annexe C (p 40).**

Il est important de procéder à une analyse de l'eau de remplissage et de l'eau en circulation.

2.3 Qualité d'eau

2.3.1 Eau de remplissage

L'eau de remplissage de l'installation doit préférentiellement provenir d'un réseau d'eau publique « potable » (eau destinée à la consommation humaine). Elle répond aux caractéristiques suivantes :

CARACTÉRISTIQUES REQUISES POUR L'EAU DE REMPLISSAGE

Paramètres	Valeurs cibles
TH en °f	< 10
Apparence de l'eau	Claire et sans dépôts
Chlorures (Cl ⁻)	< 50 mg/l
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	< 50 mg/l
Conductivité	< 800 µS/cm

NOTE Afin de satisfaire ces caractéristiques, un traitement peut être nécessaire.

S'agissant du pH de l'eau, se référer au **chapitre 1.2.1 (p 12)** ainsi qu'aux conditions générales de vente et aux notices établies par les fabricants des appareils.



IMPORTANT Les appoints d'eau supérieurs à 5% par an du volume total du circuit constituent une condition anormale et demandent une action corrective.

Un compteur d'eau permet le relevé de l'eau de remplissage.

2.3.2 Eau d'appoint

CARACTÉRISTIQUES REQUISES POUR L'EAU D'APPOINT

Paramètres	Valeurs cibles
TH en °f	< Valeur maximale de 5 à 10 selon fabricant
Apparence de l'eau	Claire et sans dépôts
Chlorures (Cl ⁻)	< 50 mg/l
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	< 50 mg/l
Conductivité	< 800 µS/cm



IMPORTANT Les appoints d'eau supérieurs à 5% par an du volume total du circuit constituent une condition anormale et demandent une action corrective.

Un compteur d'eau permet le relevé des appoints.

S'agissant du pH de l'eau, se référer au chapitre 1.2.1 (p 12) ainsi qu'aux conditions générales de vente et aux notices établies par les fabricants des appareils.

NOTE La totalité des approvisionnements en eau (remplissage et tous les appoints) doit être comptabilisée.

2.3.3 Eau de circuit

Dans le cas des circuits de production d'eau chaude sanitaire par simple échange, la qualité de l'eau doit respecter les dispositions réglementaires en la matière (émanant de la Direction Générale de la Santé). Le tableau ci-après définit les caractéristiques de l'eau du circuit.

CARACTÉRISTIQUES REQUISES POUR L'EAU DE CIRCUIT

Paramètres	Valeurs cibles	Indicateurs
Fer total*	< 5 mg/l	Permet de suivre la corrosion de métaux ferreux
Cuivre*	< 1 mg/l	Permet de suivre la corrosion de métaux cuivreux
Aluminium*	< 2 mg/l	Permet de suivre la corrosion de l'aluminium
Apparence de l'eau	Translucide	**
Mise en évidence de matières solides	Absence de particules ou d'oxydes solides	Permet de suivre la corrosion et l'embouage
Inhibiteurs de corrosion et d'entartrage	Selon préconisations du fabricant de produits de traitement d'eau	Permet de suivre le degré de protection de l'installation
Chlorures (Cl ⁻)	< 50 mg/l	Permet de suivre la tendance à la corrosion par pique
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	< 50 mg/l	Permet de suivre la tendance à la corrosion

(*) S'agissant des concentrations en métaux dépassant les plafonds fixés, la mise en œuvre d'une action corrective devra être suivie dans le temps afin de s'assurer de son efficacité.

(**) Un réseau de chauffage comportant de l'acier et dont l'eau est de couleur rouge ocre est généralement révélateur d'une corrosion due à un excès d'oxygène : une action corrective devra être engagée.

S'agissant du pH de l'eau, se référer au chapitre 1.2.1 (p 12) ainsi qu'aux conditions générales de vente et aux notices établies par les fabricants des appareils.

3 GLOSSAIRE

Acide

Substance qui se dissocie plus ou moins complètement en solution aqueuse pour produire des ions hydrogène H^+ . Un acide est d'autant plus fort qu'il donne plus d'ions H^+ dans l'eau. Parmi les acides utilisés en traitement, on peut citer : l'acide sulfurique (H_2SO_4) ; l'acide chlorhydrique (HCl).

Acidité

Teneur d'une solution en ions hydrogène H^+ . Une solution est d'autant plus acide que son pH (inférieur à 7) est faible.

Adoucissement

Procédé de traitement destiné à éliminer la dureté de l'eau (due à la présence de sels alcalino-terreux : carbonates, sulfates de chlorures de calcium et de magnésium). L'eau adoucie n'est pas incrustante et mousse facilement avec le savon. L'adoucissement est effectué par passage de l'eau à travers un échangeur de cations (permutation des ions calcium avec des ions sodium) régénéré avec du chlorure de sodium.

(Ne pas confondre avec déminéralisation ou décarbonatation).

Aération (en traitement d'eau)

Introduction d'air atmosphérique dans l'eau. Les principaux objectifs de cette opération sont, suivant les cas :

- ▶ Appauvrissement de l'eau en gaz initialement dissous (entraînement, ou stripage, de CO_2 , de NH_3 ...).
- ▶ Oxydation de composés chimiques dissous (du fer, du manganèse...) pour les rendre séparables par précipitation.

Une bonne aération réalise simultanément la dissolution de l'air dans l'eau et le brassage de l'eau aérée. L'aération s'effectue couramment par ruissellement ou projection de l'eau dans l'air : par tours de contact, cascades, pulvérisation, aérateurs rotatifs, mécaniques...

Agressivité (d'une eau)

Aptitude d'une eau à dissoudre le calcaire. Une eau agressive ne peut pas former de dépôt calcaire. L'agressivité d'une eau diminue à mesure que sa température s'élève. L'agressivité de l'eau est mesurée par l'essai au marbre. **(Ne pas confondre avec corrosivité).**

Alcalinité

Teneur d'une solution en ions hydroxyle OH^- .

Alcalino-terreux

Groupe de métaux bivalents comprenant, entre autres, le calcium, le magnésium et le baryum. Leurs sels dissous dans une eau en constituent la dureté.

Alcalins

Groupe de métaux monovalents comprenant, en autres, le sodium et le potassium. Ils entrent dans la composition des bases (ou alcalis) dites fortes (soude, potasse).

Anion

Ion chargé négativement (Exemples : Cl^- , O_2^- , SO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^-).

Anode

Électrode positive (reliée au pôle plus d'un générateur de courant électrique). Le courant pénètre par l'anode dans un système électrolytique.

Base

Substance, généralement dérivée de l'hydratation d'oxydes métalliques, qui se dissocie plus ou moins complètement en solution aqueuse pour produire des ions hydroxyle OH^- . Une base est d'autant plus forte qu'elle donne dans l'eau plus d'ions OH^- .

Les bases réagissent avec les acides pour donner un sel et de l'eau.

Parmi les bases utilisées en traitement des eaux, on peut citer : la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, la soude NaOH .

Cathode

Électrode négative (reliée au pôle moins d'un générateur de courant électrique). Le courant sort par la cathode d'un système électrolytique.

Cation

Ion chargé positivement (exemples : Ca^{2+} , Na^+ , H^+).

Conductivité

Aptitude d'une eau à permettre le passage du courant électrique. La conductivité, inverse de la résistivité, est directement liée à la teneur en minéraux dissous ionisés.

Corrosion

Attaque de la surface d'un métal due à une action électrochimique en milieu aéré ou non. Une attaque par action physique peut être la cause d'érosion ou d'abrasion. L'attaque d'un matériau non métallique est une dégradation.

Corrosivité (d'une eau)

Aptitude d'une eau à dissoudre les métaux, liée à sa composition physico-chimique (pH, résistivité, teneur en oxygène, chlorures et sulfates). La corrosivité d'une eau augmente avec la température. **(Ne pas confondre avec agressivité).**

Décantation

Procédé physique de séparation des matières en suspension dans un liquide, faisant appel à l'action de la pesanteur pour les rassembler en totalité ou en partie et pour les collecter au fond d'un réservoir (décanteur). Dans le cas d'eaux très chargées en matières en suspension, la décantation est d'un emploi fréquent en amont de la filtration.

Décarbonatation

Procédé d'épuration des eaux destiné à éliminer les bicarbonates qu'elles contiennent à l'état dissous :

- ▶ Par précipitation à la chaux, s'il s'agit de bicarbonates alcalino-terreux, avec formation de carbonates insolubles.
- ▶ Par échange d'ions avec dégagement de dioxyde de carbone, les chlorures et sulfates restant en solution.

Une eau simplement décarbonatée n'est que partiellement adoucie puisqu'elle peut toujours contenir des sels de calcium et de magnésium autres que les carbonates.

Degré français

Unité de concentration des substances chimiques en solution aqueuse.

Un degré français (1 °f) équivaut à 0,2 millièmequivalent par litre.

Cette unité, employée essentiellement en traitement d'eau, est appliquée en particulier à l'expression :

- ▶ Du titre hydrotimétrique (TH).
- ▶ Du titre alcalimétrique simple (TA).
- ▶ Du titre alcalimétrique complet (TAC).

1 °f équivaut à 10 mg/l de CaCO_3 ; à 4 mg/l de Ca^{2+} ; à 0,7 ° anglais (grain de CaCO_3 par gallon impérial) ; à 0,56 ° allemand (dH) (10 mg/l de CaO) ; à 0,58 ° américain (grain de CaCO_3 par gallon US).

Degré hydrotimétrique (TH)

Unité de dureté de l'eau exprimée en degré français.

Déminéralisation

Procédé d'épuration de l'eau destiné à éliminer partiellement ou totalement des sels qui y sont dissous. La déminéralisation s'effectue en particulier :

- ▶ Par échange d'ions (succession d'échange de cations et d'échange d'anions).
- ▶ Par osmose inverse et par distillation.

La décarbonatation est un procédé de déminéralisation partielle.

Dureté (d'une eau)

Teneur en calcium et magnésium permettant le dépôt de sels insolubles et incrustants (tartres ou incrustations).

- ▶ Le titre hydrotimétrique TH (ou TH total, ou dureté totale) indique globalement la concentration en ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} .
- ▶ Le titre hydrotimétrique calcique (ou TH calcique) exprime la concentration en ions calcium Ca^{2+} .
- ▶ Le titre hydrotimétrique magnésien (ou TH magnésien ou dureté magnésienne) exprime la teneur en ions magnésium Mg^{2+} . Les titres hydrotimétriques s'expriment en degrés français.
- ▶ La dureté carbonatée indique la concentration en ions calcium et magnésium susceptibles de précipiter sous forme de carbonates. Elle est égale au TAC si le TH est supérieur au TAC, ou égale au TH si le TH est inférieur au TAC.
- ▶ La dureté temporaire (notion abandonnée au profit de la notion de dureté carbonatée) indique la concentration en calcium et magnésium qui précipite après ébullition prolongée d'une eau.
- ▶ La dureté permanente indique la concentration en calcium et magnésium qui reste en solution après ébullition prolongée.

Eau d'appoint

Eau neuve introduite dans une installation pour compenser les pertes par soutirage d'eau ou de création de vapeur.

Échangeur d'anions

Résine échangeuse d'ions susceptible de fixer des anions minéraux ou organiques et de les échanger, soit entre eux, soit avec l'ion hydroxyle OH^- . On distingue :

- ▶ Les échangeurs (d'anions) faiblement basiques, comportant un mélange d'amines.
- ▶ Les échangeurs fortement basiques contenant des radicaux ammoniums quaternaires.

Échangeur de cations

Résine échangeuse d'ions susceptible de fixer des cations minéraux ou organiques et de les échanger soit entre eux, soit avec l'ion hydrogène H^+ . On distingue :

- ▶ Les échangeurs (de cations) fortement acides, appelés cations forts, et caractérisés par la présence de radicaux sulfoniques HSO_3 (charbons sulfonés, polystyrènes sulfonés).
- ▶ Les échangeurs faiblement acides, appelés cations faibles et caractérisés par les radicaux carboxyliques (HCO_2).

Échangeur d'ions

Substance granulaire insoluble, généralement organique et synthétique, comportant dans sa structure des radicaux acides (échangeurs de cations) ou basiques (échangeurs d'anions) et susceptible de permuter, sans être elle-même altérée, les ions positifs ou négatifs fixés sur ces radicaux, contre des ions de même signe en solution dans le liquide avec lequel elle est en contact.

La permutation, appelée échange d'ions, permet de modifier la composition ionique du liquide objet du traitement.

Applications : adoucissement ; décarbonatation ; déminéralisation.

On appelle parfois « échangeur d'ions » la colonne contenant les résines échangeuses.

Entartrage

Formation sur les parois des récipients ou des tuyauteries d'une couche de tartre (dépôt généralement dur et adhérent, parfois poreux) constitué essentiellement de sels (carbonates, sulfates, silicates de calcium, etc.) provenant des eaux dures ou calcaires.

Synonyme : incrustation.

Fixation (en échange d'ions)

Opération au cours de laquelle la résine se charge progressivement en ions indésirables du liquide à traiter, tout en libérant les ions qu'elle portait initialement.

Hydrolyse

Décomposition d'une substance chimique par l'eau avec dissociation simultanée de celle-ci. Dans le cas d'un sel, la réaction est du type $\text{A.B} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{A.OH} + \text{B.H}$.

Les sels d'acides faibles ou de bases faibles, ou des deux, sont partiellement hydrolysés en solution aqueuse ; les esters peuvent être hydrolysés en alcool et acide.

Incrustation Cf. Entartrage.

Inhibiteurs de corrosion

Produits chimiques qui, ajoutés à l'eau, empêchent son action corrosive sur des métaux par formation d'une pellicule protectrice sur le métal.

Ion

Atome, ou groupement d'atomes, chargé électriquement présentant un excès (anion) ou un déficit (cation) en électrons, dont la migration occasionne le passage de l'électricité à travers un électrolyte.

Les ions positifs, ou cations, comprennent : les métaux et l'hydrogène (ex : Ca^{2+} , Na^+ , H^+). Dans un bac d'électrolyse, ils sont attirés par la cathode (électrode négative).

Les ions négatifs, ou anions, comprennent : les non-métaux et des groupements tels que SO_4^{2-} , HCO_3^- , etc., et l'ion hydroxyle OH^- . Ils sont attirés par l'anode (électrode positive).

Ionisation

État d'un mélange chimique, liquide ou gazeux, dont les composants sont dissociés en ions. Le degré d'ionisation est le degré de dissociation en ions.

Matières en suspension

Particules solides très fines présentes dans l'eau, que la pratique divise en :

- ▶ Matières décantables, qui se séparent naturellement, sans apport de réactif, quand l'eau est au repos.
- ▶ Matières colloïdales trop fines pour décanter par gravité, mais éliminables par coagulation.

Membrane semi-perméable

Membrane perméable à un liquide (solvant) et imperméable (ou peu perméable) aux substances dissoutes dans le liquide (soluté). Il existe des membranes semi-perméables naturelles (certains tissus animaux et végétaux) et des membranes synthétiques (poly-amides, acétate de cellulose).

Milliéquivalent par litre (meq/l)

Unité de concentration des corps dissous dans une solution aqueuse ; 1 meq/l correspond à la concentration d'une solution normale diluée mille fois. 1 meq/l équivalant à 5 degrés français.

Mole

Unité fondamentale de quantité de matière, dans le système SI (système international d'unités). Ce terme a remplacé celui de molécule-gramme.

Neutralité

Composé chimique commercial constitué de carbonates de calcium et de magnésium en grains calibrés, utilisé concurremment au marbre pour l'élimination du dioxyde de carbone (CO_2) agressif contenu dans une eau. L'eau percole à travers la masse neutralisante, dans des appareils analogues aux filtres à sable classiques. Le CO_2 est transformé en bicarbonates (hydrogénocarbonates) alcalino-terreux solubles.

Normale (solution aqueuse)

La solution normale d'un corps est la solution dans un litre d'eau d'un équivalent de ce corps, c'est-à-dire d'une mole du corps divisée par sa valence.

Osmose

Diffusion naturelle d'un solvant à travers une membrane semi-perméable à partir d'une solution diluée vers une solution concentrée. La différence de concentration engendre une pression dite osmotique, dont l'effet est d'égaliser les concentrations de part et d'autre de la membrane, et par la suite de diluer la solution la plus concentrée. L'osmose joue un rôle capital dans la circulation de l'eau dans les organismes vivants.

Osmose inverse

Procédé de séparation par membrane destiné à extraire un solvant d'une solution (Ex : eau pure à partir d'eau salée). Il consiste, par inversion du processus naturel de l'osmose, à appliquer à une solution en contact avec une membrane semi-perméable une pression supérieure à la pression osmotique et à recueillir le solvant de l'autre côté de la paroi. Ce procédé fait appel à des pressions de 3 à 100 bars (0,3 à 10 MPa) et permet d'éliminer des particules de dimensions comprises entre 0,2 et 10 nm (presque tous les ions et solutés).

pH (potentiel hydrogène)

Mesure de l'acidité, de l'alcalinité ou de la neutralité d'une solution aqueuse, exprimée par le logarithme (base 10) de l'inverse de la concentration de la solution en ions hydrogène (H^+) exprimée en mol/l. Le pH d'une eau est compris entre 0 et 14 (7 étant le pH d'équilibre correspondant à la neutralité).

Une eau est d'autant plus acide que son pH (inférieur à 7) est plus près de 0 et d'autant plus alcaline que son pH (supérieur à 7) est plus près de 14. Une eau à pH = 2 contient 10 000 fois (10^4) plus d'ions hydrogène (et est 10 000 fois plus acide) qu'une eau à pH = 6.

Le pH varie en fonction de la température et se mesure à l'aide d'indicateurs colorés, ou mieux, par électrométrie (mesure fine de différences de potentiel électrostatique) à l'aide d'un pH-mètre.

Polyphosphates

Produits minéraux obtenus par polycondensation d'orthophosphates, caractérisés par la répétition du même motif structure PO_3M . Ces polymères se présentent sous forme de chaînes plus ou moins longues, plus ou moins ramifiées, voire cycliques.

Les polyphosphates complexent de nombreux cations tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} et agissent comme dispersants ou comme opposants à certaines réactions chimiques. Leurs applications, essentielles, concernent la prévention de l'entartrage et la stabilisation du fer et du manganèse. Les polyphosphates sont décomposés par l'eau (hydrolyse) dès leur mise en solution. La vitesse d'hydrolyse, faible à température ambiante (10 – 20 °C), s'accélère avec l'élévation de température pour devenir quasi instantanée à l'ébullition.

Régénération (en échange d'ions)

Opération effectuée sur une résine échangeuse d'ions saturée, de façon à la ramener à son état initial. La régénération consiste à faire percoler sur la résine une solution appropriée (acide, basique ou saline), de haute pureté.

Résines (en échanges d'ions)

Terme partiellement impropre désignant les matériaux granulaires utilisés en échange d'ions (échangeurs de cations, échangeurs d'anions).

Sel

Substance résultant de l'action d'un acide sur une base. Parmi les sels utilisés en traitement des eaux, on peut citer :

- ▶ Le chlorure de sodium $NaCl$.
- ▶ Le silicate de sodium Na_2SiO_3 .
- ▶ Le chlorure ferrique $FeCl_3$.
- ▶ Le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$.

Le sel utilisé pour la régénération des adoucisseurs d'eau est constitué de chlorure de sodium de très grande pureté.

TA (titre alcalimétrique simple)

Mesure de la teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes) et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalins et alcalino-terreux, déterminée par addition de la quantité d'acide sulfurique nécessaire au virage de la phénolphtaléine.

La TA s'exprime en degrés français (°f). La notion équivalente allemande est le « p Wert », exprimé en degrés allemands (°dH).

TAC (titre alcalimétrique complet)

Teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes), en carbonates et en bicarbonates (ou hydrogénocarbonates) alcalins et alcalino-terreux, déterminée par addition de la quantité d'acide sulfurique nécessaire au virage du méthylorange (ou hélianthine). Si le pH est inférieur à 8,2, le TA est nul et l'eau ne contient pratiquement que des bicarbonates. Il s'exprime en degrés français (°f). La notion équivalente allemande est le « m Wert » exprimé en degrés allemands (°dH).

Tartre

Dépôt généralement dur et adhérent, quelquefois poreux, constitué essentiellement de sels (carbonates, sulfates, silicates de calcium, etc...) provenant des eaux dures ou calcaires.

TH (titre hydrotimétrique) Cf. Dureté d'une eau.

ANNEXE A | RÉGLEMENTATIONS ET NORMES APPLICABLES

Sur le plan réglementaire, il n'existe pas de référentiel fixant les qualités d'eau à maintenir pour un fluide caloporteur.

- ▶ Article 16.9 du Règlement Sanitaire Départemental ; repris par la circulaire du 26 avril 1982.
- ▶ Circulaire du 2 mars 1987 liste des additifs pouvant être introduits dans les circuits de chauffage (uniquement échangeurs simple échange) complétant celle du 2 juillet 1985.
- ▶ Arrêté du 14 janvier 2019 relatif aux conditions de mise sur le marché des produits introduits dans les installations utilisées pour le traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine.

Autre avis technique issu d'organismes français ou européens :

- QB 22 : certification du procédé (FR).

1. Entartrage et incrustations

En règle générale, les éléments contenus dans les eaux naturelles sont à l'état d'équilibre stable dans les conditions naturelles de température et de pression (c'est-à-dire à 10 °C sous 1 000 HPa de pression).

Si ces conditions naturelles sont modifiées, par exemple, par chauffage ou variation de pression, ou bien si la concentration en matières dissoutes est augmentée par suite d'évaporation de tout ou partie de l'eau, certains éléments contenus dans l'eau peuvent atteindre leur limite de solubilité. Ils apparaissent alors dans le liquide sous forme de fines particules solides qui peuvent grossir, se rassembler, décanter ou se fixer aux parois. Ces dépôts peuvent durcir, cristalliser pour former les incrustations ou tartres.

Ce phénomène est le plus souvent accéléré par l'augmentation de température.

2. Éléments générateurs de tartre

Deux grandes catégories de composés sont susceptibles d'être à l'origine des dépôts de tartre :

- ▶ Les sels de calcium : carbonates, phosphates, sulfates et silicates.
- ▶ La silice.

2.1 Le carbonate de calcium

Ce sel est d'autant moins soluble que la température est élevée et que l'eau est pauvre en CO₂ dissous (environ 50 mg/l à 20 °C et 5 mg/l à 100 °C).

Sa formation à partir des hydrogénocarbonates, solubles mais instables, et du calcium dissous, est favorisée par l'appauvrissement de l'eau en CO₂ par suite de la mise en contact de l'eau avec l'air ou par formation de bulles de gaz au sein du liquide.

Lorsqu'il se forme lentement, le carbonate de calcium cristallise sous forme d'aragonite puis de calcite. Les cristaux de calcite adhèrent facilement sur la surface des matériaux polaires (les métaux subissant un début de corrosion) et ce d'autant plus facilement que la surface est chaude.

Lorsque la vitesse de formation du carbonate est rapide, avec une vitesse de circulation d'eau élevée, les cristaux de carbonate se forment en partie à la surface des matériaux polaires et en partie dans la veine liquide. Emportés par le courant d'eau, ces cristaux peuvent se déposer là où la vitesse d'écoulement est plus faible et servir alors d'amorce à la formation de dépôts incrustants.

Le carbonate de calcium n'adhère pratiquement pas sur les surfaces non polaires, telles que l'acier inoxydable passivé et certains matériaux de synthèse (polyéthylène et polybutylène en particulier).

Les tartres de carbonate de calcium, appelés aussi « tartres carbonatés », sont d'aspect tantôt granuleux, tantôt lisse, le plus souvent accompagnés de matières organiques, d'oxydes métalliques (oxyde de fer principalement), parfois de sulfates et de silice (ils sont alors très adhérents).

2.2 Le sulfate de calcium

Le sulfate de calcium a une solubilité qui commence par croître lorsque la température s'élève, passe par un maximum aux environs de 40 °C pour décroître ensuite.

Les tartres sulfatés sont très durs, presque toujours d'aspect lisse. Leur adhérence aux parois est remarquable.

Les tartres sulfatés ne se rencontrent pratiquement jamais dans les réseaux de distribution d'eau destinée à la consommation humaine ou d'eau chaude sanitaire. En effet, les températures et les teneurs en sulfates de ces eaux sont insuffisantes pour que la limite de solubilité du sulfate de calcium soit atteinte.

Par contre, leur formation est possible dans les circuits à haute température (chaudières de production de vapeur ou d'eau surchauffée), et dans les circuits où l'eau subit un phénomène de concentration des sels minéraux par évaporation d'eau pure (chaudière vapeur, circuits de refroidissement ouverts à recyclage d'eau sur aéroréfrigérants).

2.3 La silice

La solubilité de la silice diminue lorsque la température s'élève et lorsque le pH diminue. Des tartres siliceux, d'aspect tantôt granuleux tantôt vitreux, excessivement durs et adhérents, ne sont rencontrés dans la pratique que dans les chaudières vapeur à moyenne ou haute pression, et dans les circuits de refroidissement à pH faible.

3. Effets de dépôts de tartre

Les principaux désordres liés à la formation de dépôts incrustants sont :

- ▶ La perturbation des caractéristiques hydrauliques des installations par réduction des sections de passage de l'eau et augmentation du coefficient de rugosité des parois (augmentation des pertes de charge en ligne).
- ▶ L'obstruction d'appareils ou de canalisations.
- ▶ Le blocage des robinetteries d'arrêt et de réglage.
- ▶ Le blocage des organes de sécurité (soupapes...).
- ▶ L'augmentation de l'épaisseur des parois d'échange par apport de matériaux mauvais conducteurs de la chaleur, d'où chute des rendements d'échange thermique, mauvais refroidissement, dilatations anormales, fatigue du métal pouvant aller jusqu'à la rupture.
- ▶ La création de porosités (si les dépôts ne sont pas parfaitement cristallisés), propices aux corrosions par aération différentielle ou aux proliférations de micro-organismes.

CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX EN FONCTION DE LEUR COMPORTEMENT VIS-À-VIS DE L'ENTARTRAGE

Matériaux	Fixation du tartre
Acier noir	Peu aisée
Fonte	Aisée
Acier galvanisé	Aisée
Aciers spéciaux (inox)	Difficile
Alliages d'aluminium	Très aisée
Cuivre	Très aisée
Bronzes et laitons	Peu aisée
Matériaux de synthèse non polaires (PE, PER, PB, PTFE)	Difficile
Matériaux de synthèse polaires (PVC, PVCC)	Très aisée

4. Protection contre les tartres carbonatés

● ADOUCISSEMENT PAR PERMUTATION SODIQUE

Ce procédé consiste à fixer les ions calcium et magnésium sur une résine échangeuse de cations fortement acide qui cède en échange des ions sodium dont les carbonates sont très solubles.

● DÉCARBONATATION SUR RÉSINE

Ce procédé met en œuvre une résine échangeuse de cations faiblement acide qui fixe les cations jusqu'à concurrence de la teneur en hydrogénocarbonates. Ces derniers sont transformés en acide carbonique, composé très instable qui se transforme immédiatement en CO_2 . Ce procédé conduit donc à la fois à un adoucissement de l'eau (réduction de la dureté totale) et à une décarbonatation.

● DÉCARBONATATION PAR ADDITION D'ACIDE FORT

Une addition d'acide fort (chlorhydrique ou sulfurique) conduit à transformer les hydrogénocarbonates en CO_2 et chlorures ou sulfates (suivant la nature de l'acide utilisé).

● DOSAGE DE SÉQUESTRANTS

Les polyphosphates interviennent à faible dose (quelques mg/l) dans le processus de maturation des germes de cristallisation du carbonate de calcium. D'autant plus sensibles à la décomposition par hydrolyse que la température est élevée, les polyphosphates sont en pratique presque exclusivement réservés au traitement des eaux destinées à la consommation humaine (eau froide et eau chaude sanitaire).

● DOSAGE DE CHÉLATANTS

En complexant le calcium, les chélatants (EDTA, en particulier) bloquent les réactions de formation de carbonate de calcium. Ces produits ont également une action de dissolution vis-à-vis des autres composés métalliques, dont les oxydes et les complexes inhibiteurs de corrosion.

Pour cette raison, leur utilisation est réservée aux circuits industriels véhiculant des eaux exemptes d'oxygène dissous.

● DÉMINÉRALISATION

Les cations et les anions sont éliminés par les procédés de déminéralisation tels que l'osmose inverse et les échangeurs d'ions.

5. Les corrosions

Dans l'industrie de la construction, les corrosions ont des conséquences économiques considérables, tant directement, par les coûts d'intervention et la consommation de produits métallurgiques qu'elles engendrent, qu'indirectement (arrêt des unités industrielles de production pour réparations, dégradation de la qualité des produits manufacturés en contact avec l'eau chargée de métaux dissous, etc.).

Lorsqu'il s'agit d'eau de consommation humaine, la pollution de l'eau par les métaux mis en solution dans l'eau peut avoir des conséquences tantôt désagréables pour le consommateur (couleur ou saveur altérée), tantôt beaucoup plus graves (intoxications par certains métaux lourds comme le plomb et le cadmium, par exemple).

5.1 Mécanismes et causes des corrosions

Les corrosions sont toujours le résultat de réactions nombreuses et complexes, mettant en jeu de multiples paramètres.

5.2 Dissolution des métaux dans l'eau

La corrosion des métaux provient du fait que ceux-ci sont instables dans l'eau et ne demandent qu'à s'y dissoudre.

Si, par exemple, un échantillon d'acier doux est plongé dans l'eau, les ions fer constituant les cristaux du métal à l'interface eau-métal ont tendance à quitter la phase solide (métal) pour migrer vers la phase liquide (eau).

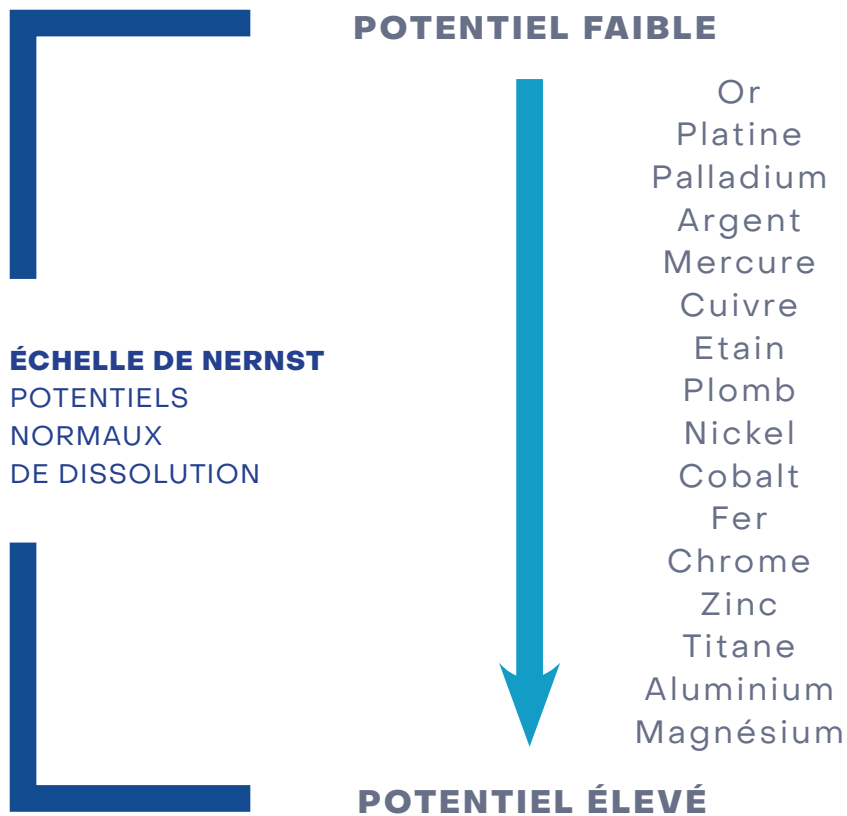
Les électrons devenus excédentaires par suite de la migration des ions fer restent dans le métal au voisinage du point de corrosion. Il se forme ainsi progressivement, à l'interface fer-eau, un nuage d'ions fer positifs dans la phase liquide et un nuage d'électrons négatifs dans le métal.

Ces ions créent un champ électrique croissant, et les ions fer, pour migrer dans la phase liquide, doivent dépenser une énergie de plus en plus grande jusqu'au moment où la corrosion cesse, par suite de l'établissement d'un équilibre.

On est alors en présence d'un système électrique appelé électrode défini par une certaine force électro-motrice (ou potentiel).

L'aptitude d'un métal à passer en solution est variable d'un métal à l'autre. Cette caractéristique est appelée « potentiel de dissolution ».

Il a été ainsi établi une échelle des potentiels de dissolution mesurés par rapport à une électrode à hydrogène (appelée « électrode normale »). Cette échelle des potentiels normaux de dissolution, appelée Échelle de Nernst, est la suivante :



Puisque, pratiquement, l'équilibre auquel devrait tendre la réaction d'ionisation n'est pas établi, il faut admettre la destruction du champ magnétique créé par le courant de corrosion, c'est-à-dire admettre l'existence d'un autre couple ayant une force électromotrice différente de celle de l'électrode de fer et susceptible de capter les électrons.

► Si l'eau ne contient pas d'oxygène dissous, les ions H^+ captent les électrons suivant la réaction ci jointe :



► Si l'eau contient de l'oxygène dissous, les électrons peuvent être captés par l'électrode d'oxygène fonctionnant comme indiqué ci-joint :



Le métal attaqué fonctionne comme donneur d'électrons et joue le rôle d'anode, les ions H^+ ou l'oxygène fonctionnent comme capteurs d'électrons et jouent, par conséquent, le rôle de cathode.

La différence de potentiel qui existe entre l'électrode fer/ion fer et l'électrode H^+/H_2 ou O_2/OH^- est à l'origine des courants de corrosion, appelés aussi courants galvaniques.

Il n'existe pas de surfaces métalliques parfaitement homogènes, car la plupart des pièces utilisées pour la construction des circuits d'eau sont obtenues par laminage ou forgeage. Au cours de ces opérations, les métaux ont subi des contraintes mécaniques qui se traduisent par des différences locales de formation du réseau cristallin. Entre deux points voisins existe donc une hétérogénéité invisible mais capitale, puisqu'elle permet la création de couples électriques locaux.



IMPORTANT La perte de métal se fait à l'anode ; la cathode n'est pas attaquée : elle ne sert que de conducteur.

5.3 Corrosion par l'oxygène

L'oxygène est capable d'oxyder l'hydroxyde ferreux $\text{Fe}(\text{OH})_2$ en hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$ suivant la réaction :



L'hydroxyde ferrique est peu soluble et se dépose à la surface du métal. Mais ce dépôt est poreux et laisse passer les ions qui sont électriquement neutralisés à mesure qu'ils passent en solution.

La corrosion peut donc se poursuivre en profondeur. C'est le processus de corrosion par formation de piqûre qui caractérise la corrosion par l'oxygène.

5.4 Aération différentielle

Mise en évidence par Evans, la corrosion par aération différentielle peut s'illustrer par l'expérience qui montre que si, pour un même métal, l'oxygène dissous a une activité chimique plus grande sur une partie de la surface que sur une surface voisine, cette dernière devient anode et subit la corrosion alors que là où l'oxygène est plus actif, la surface devient cathode et ne se corrode pas.

L'activité de l'oxygène dissous sur une surface métallique est d'autant plus grande que :

- ▶ La température locale est plus élevée.
- ▶ L'eau est mieux renouvelée.
- ▶ La surface métallique est davantage exempte de dépôts.

Ainsi des piles d'aération différentielle peuvent se créer :

- ▶ Entre deux points d'un même métal à températures différentes.
- ▶ Lorsque localement il existe un dépôt poreux.
- ▶ Lorsqu'une partie du métal est recouverte par de l'eau stagnante s'appauvrissant en oxygène à côté d'une autre zone où l'eau est mieux renouvelée.

5.5 Action des chlorures

Les ions chlorures, de très faibles dimensions, traversent facilement les dépôts recouvrant éventuellement les métaux et pénètrent dans les micro-fissures qui existent toujours à la surface du métal.

Ils réagissent alors avec l'eau en produisant de l'acide chlorhydrique. Il s'ensuit localement des pH très faibles qui accélèrent la corrosion du métal qui se poursuit en profondeur (corrosion intergranulaire des « inox »).

5.6 Action des sulfates

Les ions sulfates augmentent la conductivité électrique de l'eau et favorisent donc les corrosions galvaniques.

Les ions sulfates s'adsorbent facilement à la surface des métaux et engendrent des porosités dans les dépôts qui ont tendance à s'y former, réduisant ainsi l'efficacité des couches protectrices naturelles ou artificielles.

Enfin, des corrosions en absence d'oxygène libèrent de l'hydrogène naissant. Puissant réducteur, cet hydrogène naissant peut réduire les sulfates en sulfures très corrosifs vis-à-vis des alliages cuivreux (des laitons en particulier).

5.7 Corrosion par les caustiques

Les caustiques (la soude en particulier) peuvent se concentrer dans des failles, des cassures ou des fêlures existant à la surface du métal, lorsque celui-ci présente une fatigue sous tension notamment.

La soude concentrée peut alors dissoudre la couche protectrice d'oxyde (dissolution de la couche de magnétite protectrice dans les chaudières), et même dissoudre un des composants de certains alliages (dézincification des alliages cuivreux), qui perdent alors leurs caractéristiques mécaniques.

5.8 Corrosion par les organismes vivants

Certains organismes vivants peuvent, par leur développement, être à l'origine indirecte de corrosions. Les cas les plus fréquents sont :

- ▶ Des processus d'aération différentielle avec attaque de zones de métal recouvertes de proliférations d'algues ou de bactéries banales.
- ▶ Une accélération de corrosions naissantes par dépolarisation des piles de corrosion : c'est le cas des bactéries du fer qui puisent l'énergie nécessaire à leur développement dans l'énergie libérée par la corrosion (des phénomènes identiques auraient été constatés sur le cuivre).
- ▶ Une corrosion par les sulfures : certaines bactéries anaérobies (désulfovibrio désulfuricans) sont capables de réduire les sulfates en sulfure qui attaquent l'acier.

Le plus souvent ces bactéries nécessitent, pour pouvoir se fixer et se développer en milieu anaérobie, des conditions issues de phénomènes primaires tels que les dépôts poreux, un début de corrosion...

5.9 Corrosion par piles bimétalliques

Lorsque des métaux de nature et de polarités différentes sont en présence (**Cf. Échelle de Nernst, chapitre 5.2, annexe B, p 31**), le métal qui s'ionise le plus facilement (celui qui a le potentiel de dissolution le plus faible) devient anode et subit la corrosion.

Le métal le plus noble (celui qui a le potentiel de dissolution le plus élevé) devient cathode et ne se corrode pas. Il s'établit ainsi une différence de potentiel entre les deux métaux, permettant à la pile de corrosion de fonctionner d'autant plus rapidement que les métaux sont plus éloignés l'un de l'autre dans l'échelle des potentiels.

Deux cas sont à considérer :

● JONCTION DE DEUX MÉTAUX DIFFÉRENTS

C'est le cas de la brasure d'un tube de cuivre sur un tube acier galvanisé. Il se produit une macropile peu active, du fait que le courant de corrosion est réparti sur une grande surface anodique (le zinc de galvanisation dans l'exemple choisi). De surcroît, cette anode se recouvre généralement d'oxydes qui ralentissent encore les réactions chimiques. La corrosion, dont la vitesse devient très faible, passe alors le plus souvent inaperçue.

● TRANSFERT D'IONS MÉTALLIQUES NOBLES SUR UN MÉTAL MOINS NOBLE

C'est le cas de la présence d'un élément en cuivre à l'amont d'une tuyauterie en acier galvanisé.

À la mise en service, l'eau entraîne toujours des ions du métal noble (cuivre dans l'exemple choisi) qui se déchargent sur la cathode que constitue le métal moins noble.

Il y a dépôt électrolytique de métal noble sur le métal moins noble avec formation de micropiles fermées (cuivre/zinc dans l'exemple) actives et localisées sur une très faible surface. Il s'ensuit une attaque localisée perforante du métal le moins noble.

Ce type de corrosion est très fréquent dans les circuits d'eau sanitaire.

C'est ainsi qu'on devra rechercher une homogénéité maximale dans les constituants d'un circuit d'eau, et que l'on proscrit, sauf traitement spécifique de l'eau la présence de tout élément en cuivre à l'amont de tuyauteries en acier noir ou galvanisé.

6. Comportement des métaux usuels vis-à-vis de la corrosion

Chaque matériau métallique a un comportement spécifique qui dépend à la fois du matériau lui-même (nature chimique, structure métallurgique), de la composition de l'eau et des conditions physiques qui règnent dans l'installation (températures, pressions, vitesses d'écoulement de l'eau, etc.).

6.1 Acier au carbone ou acier noir

Pour des pH inférieurs à 9,6 ou supérieurs à 12, le fer est thermodynamiquement très instable et se dissout rapidement.

Si l'eau contient de l'oxygène, les ions ferreux libérés se combinent avec lui pour former des oxydes et hydroxydes peu solubles, qui précipitent sur la surface anodique en dépôts volumineux plus ou moins compacts et adhérents, et presque toujours poreux. La corrosion de l'acier se poursuit donc.

6.2 Fonte

La fonte, alliage ferreux riche en carbone, subit également la corrosion, surtout si l'eau est riche en CO_2 .

La corrosion de la fonte a toutefois moins de conséquences que celle de l'acier, eu égard à la forte épaisseur des parois.

6.3 Zinc, acier galvanisé

La galvanisation de l'acier est le plus souvent obtenue par immersion des pièces dans un bain de zinc fondu (450 °C).

Il se produit une réaction métallurgique entre l'acier et le zinc conduisant à la formation d'alliages fer-zinc et zinc-fer établis en trois couches successives recouvertes d'une couche de zinc pur.

L'ensemble de ces différentes couches a une épaisseur de l'ordre de 80 à 100 μm (0,08 à 0,1 mm).

Fortement électronégatif, le zinc se dissout rapidement. Toutefois, les ions zinc libérés peuvent se combiner avec l'oxygène, les ions OH^- , les ions HCO_3^- pour former des oxydes, hydroxydes, hydroxycarbonates insolubles.

À température ordinaire (< 40 °C), le zinc se recouvre rapidement d'oxyde adhérent et très peu poreux aux gaz et aux ions. La corrosion cesse alors rapidement par « autoprotection anodique ». Lorsque la température atteint entre 40 et 60 °C, et surtout si le pH de l'eau est élevé, il se forme un hydroxyde de zinc légèrement pulvérulent et plus poreux que l'oxyde.

La corrosion se poursuit donc jusqu'à la mise à nu de l'acier sous-jacent. Aux températures comprises entre 65 et 80 °C, en présence de CO_2 dissous, il se forme un hydroxycarbonate pulvérulent peu adhérent et très poreux permettant le maintien d'une corrosion active.

6.4 Cuivre et ses alliages

Si l'eau contient de l'oxygène et peu de CO_2 agressif, le cuivre se recouvre très vite d'un mélange d'oxyde de cuivre noir et de carbonate, adhérent au métal et non poreux.

Les corrosions des éléments cuivre sont donc rares et limitées à quelques cas précis qui sont examinés ci-dessous :

Corrosion généralisée

C'est le cas de la brasure d'un tube de cuivre sur un tube acier galvanisé. Elle se produit en présence d'eaux très douces, chargées en oxygène et en gaz carbonique libre. Il se forme un carbonate basique de cuivre poreux. Cette corrosion se manifeste parfois par des taches vertes dans les lavabos et baignoires.

L'attaque est lente et n'altère pas la durée de vie du tube ; de plus, étant très régulièrement répartie, elle ne modifie pas les caractéristiques mécaniques du métal. Elle ralentit généralement en fonction du temps et s'arrête souvent après quelques mois.

Corrosion perforante

Cette corrosion se présente sous deux aspects selon la nature et la température de l'eau.

● EAUX FROIDES

Sous l'action d'eaux froides fortement minéralisées, donc de faible résistivité électrique, il se produit une corrosion perforante en cratères symétriques, à parois lisses, surmontés d'une pustule verte riche en chlorures de cuivre. La paroi interne du tube, brun-rouge et d'aspect glacé, est recouverte d'un dépôt vert, régulier, facilement détachable en plaques. C'est la forme dite « pitting type I »

Un maximum de désordres est constaté avec des eaux de caractéristiques suivantes :

- ▶ $< 1\,500 \, \Omega \cdot \text{cm}$
- ▶ $\text{pH} < 7,2$
- ▶ $\text{TH} > 30 \, ^\circ\text{f}$
- ▶ $\text{SO}_4 > 50 \, \text{mg/l}$

Dans les tubes de 1 mm d'épaisseur, les perforations apparaissent un an et demi ou deux après la mise en service.

Le mécanisme réel de ce mode de corrosion – de type galvanique – est complexe. L'expérience a montré qu'il était toujours lié à une structure métallurgique de recuit et que la présence de résidus carbonés favorise et accélère le phénomène.

C'est ainsi que la corrosion de type « pitting n° 1 » est plus fréquente sur des tubes recuits n'ayant pas subi de traitement après passage au four, car ils présentent sur leur surface interne des résidus de carbone provenant de la combustion incomplète des lubrifiants d'étirage.

En revanche, cette corrosion perforante ne s'observe pas sur les tubes écrouis durs dont la fabrication est terminée par une phase d'étirage sur mandrin, lequel élimine par raclage, les éventuels produits de décomposition du lubrifiant.

De plus, l'homogénéité de la structure cristalline de ces tubes les rend moins sensibles à la corrosion.

Les corrosions de type « pitting n° 1 » n'apparaissent pas dans les canalisations d'eau chaude, du moins tant que celles-ci sont maintenues en température.

En effet, si l'eau est dure, il y a formation de tartre protecteur, et si elle est insuffisamment minéralisée elle ne peut jouer le rôle d'électrolyte.

Par ailleurs, l'expérience semble montrer que la présence de nitrates dans l'eau favorise le développement de certaines bactéries qui à leur tour jouent un rôle actif dans la vitesse de corrosion du cuivre.

● EAUX CHAUDES

La corrosion perforante des canalisations d'eau chaude en cuivre, désignée sous le nom de « pitting type II » est indépendante de l'état métallurgique des tubes.

Elle apparaît en présence d'eaux de faible dureté ($TH < 15$ °f), de pH inférieur à 7,4 et dont le rapport HCO_3^- / SO_4^{2-} est inférieur à 1. L'attaque est d'autant plus intense que l'eau est chaude. Les tubes sont apparemment intacts. Leur paroi intérieure est recouverte d'un dépôt amorphe allant du blanc jaunâtre au jaune-brun avec de nombreuses pustules de petite dimension (de l'ordre du millimètre).

La corrosion perforante, localisée sous ces pustules, progresse en profondeur sous forme de « poches » aux parois irrégulières et sans relation avec la structure cristalline du cuivre.

Dans les piqûres, on trouve des produits de corrosion colorés en vert (présence de $CuSO_4$) et, en profondeur, de l'oxyde de cuivre Cu_2O , mais les chlorures sont absents. Les pustules et le dépôt contiennent généralement de l'aluminium, du silicium, du fer et des produits organiques.

Les conditions nécessaires au développement de la corrosion du type « pitting II » pourraient être réunies à la suite, par exemple, d'un traitement de floculation au sulfate d'aluminium, insuffisamment contrôlé.

La seule solution à ce problème de corrosion réside dans un traitement approprié de l'eau pour faire remonter le pH au-dessus de 7,4 et le rapport $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$ au-dessus de 1.

● CORROSION PAR LES DÉRIVÉS AMMONIAQUÉS

L'ammoniaque et les amines aliphatiques ont la propriété de former avec l'oxyde de cuivre un complexe soluble. En présence de tels composés, l'autoprotection du cuivre par formation d'oxyde insoluble devient donc impossible et la corrosion se poursuit.

6.5 Aluminium

D'une façon générale, l'aluminium et ses alliages ont une bonne tenue à la corrosion vis-à-vis des eaux à $\text{pH} < 7$, par suite de formation d'un oxyde Al_2O_3 stable, adhérent et imperméable.

Pour les $\text{pH} > 7$ et lorsque l'eau est riche en chlorures ou en sodium, l'aluminium forme un hydrate d'alumine $\text{Al}(\text{OH})_3$, produit très pulvérulent, peu adhérent et très poreux.

6.6 Aciers spéciaux (aciers inoxydables)

Les aciers hautement alliés au chrome et au nickel se recouvrent facilement d'une couche d'oxyde de chrome compact, adhérent et très imperméable, qui stoppe très vite la corrosion du métal.

Il arrive que cette couche de passivation ne se forme pas (dans le cas de dépôts d'oxydes et d'hydroxydes de fer en particulier). Une corrosion localisée très rapide peut alors se développer.

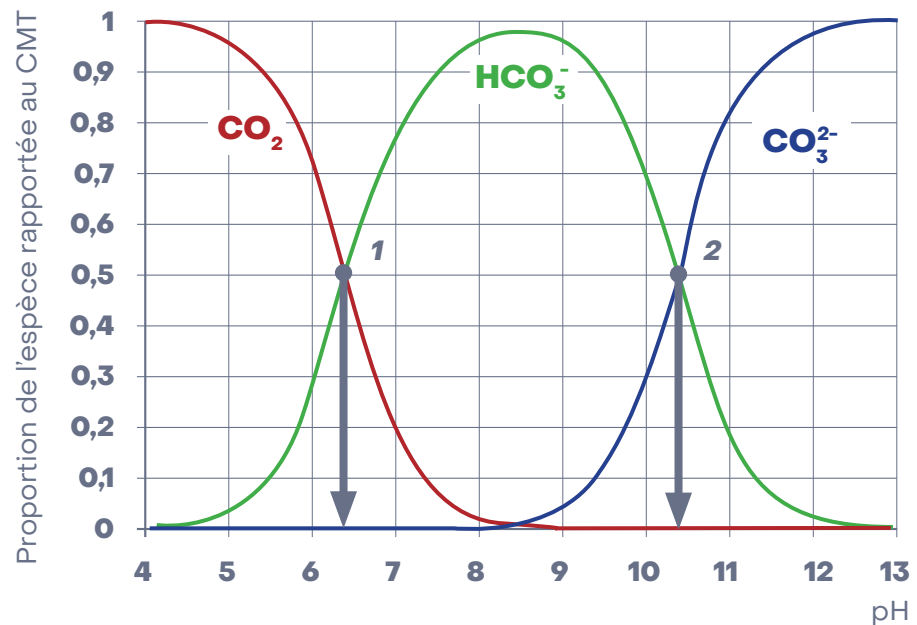
Il existe un très grand nombre de nuances différentes d'aciers inoxydables dont le comportement vis-à-vis de l'eau est fonction de la température de service et des conditions de mise en oeuvre (contraintes...) ou d'assemblages (soudures). Ainsi, une nuance définie peut donner toute satisfaction pour une fonction et des conditions données, et se corroder très vite dans d'autres conditions. D'une façon générale, la passivation des aciers spéciaux est toujours difficile lorsque l'eau est riche en fer dissous (dépôts d'oxydes de fer empêchant la passivation) ou en chlorures.

7. Phénomène d'élévation du pH en circuit de chauffage

Le phénomène fréquemment rencontré d'élévation du pH de l'eau en circuit de chauffage est principalement lié à la réaction de dissociation des bicarbonates présents dans l'eau.

L'alcalinité d'une eau est essentiellement due à la présence des ions bicarbonates (HCO_3^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-). En fonction de la valeur de pH, la proportion de bicarbonates et de carbonates varie selon le diagramme ci-dessous :

PROPORTION DE CARBONATES ET DE BICARBONATES SELON LE pH



L'eau brute ou d'appoint d'un circuit de chauffage a généralement un pH voisin de la neutralité (7), donc ne contient quasiment pas de dioxyde de carbone dissous ni de carbonates.

Dès que l'eau ayant servi au remplissage de l'installation est montée en température, nous observons la réaction ci-dessous de décomposition de bicarbonates :



L'élévation de température dans la boucle d'eau chaude va donc conduire à la formation de bicarbonates et de dioxyde de carbone dissous et à la diminution de la concentration en bicarbonates. Le dioxyde de carbone désorbera et sera évacué de l'installation par les purgeurs d'air. L'eau en circulation aura donc tendance à voir sa concentration en carbonates CO_3^{2-} augmenter, déplaçant ainsi son pH vers une zone plus élevée (Cf. Graphique ci-dessus).

I - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

1 - Marque de la chaudière : _____ Type : _____
 Combustible : _____ Nature : _____

2 - Pression de fonctionnement (bar) : _____ Présence
 Puissance (kW) : _____ de pressostats :
 Température (°C) : _____ OUI NON

3 - Pompe de circulation Marque : _____
 Type : _____ Débit (m³/h) : _____

4 - Maintien de pression Air libre
 Marque : _____ Sous pression

5 - Température de départ : _____ °C
- Température retour : _____ °C

6 - Volume du circuit : _____ m³

7 - Type de sous-station Échangeur Autres : _____
 Bouteille de mélange Pot de détente _____

8 - Matériaux du circuit
 Acier noir Acier galvanisé Cuivre
 Aluminium Autres Matériaux synthétiques
 Inox Préciser : _____

II - TRAITEMENT D'EAU DU CIRCUIT

1 - Type d'eau Forage Ville

2 - Adoucissement : OUI NON

Si oui préciser le type : _____

Adoucisseur Hors Service ? OUI NON

3 - Qualité d'eau**d'alimentation du circuit**

Analyse jointe ?

TH : _____

 OUI

_____ °F

 NON**4 - Qualité d'eau du circuit**

Analyse jointe ?

TH : _____

 OUI

_____ °F

 NON**5 - Compteur**

si oui relevé du compteur

 OUI NON

Compteur Hors Service ?

 OUI NONSi compteur à impulsions,
fréquence :_____ m³

_____ Hz

6 - Filtre (en dérivation) :

Si oui préciser le type :

 OUI NON

7 - Volume d'appoint annuel :_____ m³ Manuel Automatique (à proscrire)**8 - Conditionnement en place
avant la prise en charge**Prétraitement en place
(adoucissement,
déméralisation) OUI NON

Si oui, préciser :

Marque :

Dosage :

_____ ml/m³

Produit de traitement 1

Point d'injection :

Marque de la pompe : _____

Type : _____

Plage de débit : _____

Soit en % _____

Asservissement ?

 OUI NON

Pompe est Hors Service ?

 OUI NON

Produit de traitement 2

Marque :

Dosage :

_____ ml/m³

Point d'injection :

Marque de la pompe : _____

Type : _____

Plage de débit : _____

Soit en % _____

Asservissement ?

OUI

NON

Pompe est Hors Service ?

OUI

NON

Présence de témoins
de corrosion ?

OUI

NON

Si oui, vitesses ou aspects
des corrosions relevées : _____

Nécessité d'un lessivage

- désembouage de l'installation ?

OUI

NON

**9 - Clapet anti-retour entre prise à
TH = 0 °F et by-pass additionnel ?**

OUI

NON

10 - Disconnecteur ?

OUI

NON

11 - Chasse (vidange) point bas ?

OUI

NON

12 - Purge point haut ?

OUI

NON

13 - Dégazeur ?

OUI

NON

14 - Autres appareils hors service ?

OUI

NON

Si oui, lesquels : _____

**15 - Points de prélèvement
manquants ?**

OUI

NON

Préciser lesquels : _____

III - SCHÉMA D'INSTALLATION

OUI

NON

IV - COMMENTAIRES ÉVENTUELS

V - DATE, CACHET & SIGNATURE



SYNDICAT NATIONAL DES FABRICANTS
DE PRODUITS CHIMIQUES DE TRAITEMENT
ET D'ASSAINISSEMENT DE L'EAU

www.syprodeau.org



SYNDICAT DES INDUSTRIES THERMIQUES,
AÉRAULIQUES ET FRIGORIFIQUES

www.uniclimate.fr

