

# L'influence des silicates sur la corrosion d'acier dans les circuits d'eau

Autor(en): **Colin, Michel / Landolt, Dieter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **114 (1988)**

Heft 19

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76832>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



# L'influence des silicates sur la corrosion d'acier dans les circuits d'eau

## 1. Introduction

Les traitements chimiques destinés à protéger les circuits d'eau sanitaire sont peu nombreux, car il est impératif de conserver à l'eau son caractère de potabilité, ce qui exclut l'utilisation de produits donnant satisfaction dans des circuits industriels. Aussi, le conditionnement des eaux potables se résume essentiellement à l'injection de solu-

PAR MICHEL COLIN  
ET DIETER LANDOLT,  
LAUSANNE

tions de phosphates, à celle de silicates ou au mélange des deux.

Parmi ces procédés, l'emploi de silicates, bien que contesté par certains auteurs, semble constituer le traitement le plus utilisé en pratique. Les silicates de sodium ou de potassium ne peuvent, selon la législation, être utilisés régulièrement qu'à un dosage maximal de 10 mg/l en  $\text{SiO}_2$ . Ce faible dosage explique peut-être l'inefficacité constatée par certains chercheurs qui attribuent peu de crédit aux silicates, si ce n'est celui d'augmenter le pH de l'eau, auquel cas une légère protection apparaîtrait. Cependant, d'autres auteurs constatent une action protectrice due, selon eux, à la formation d'un film de silice sur la surface métallique.

Notre contribution à l'étude de l'action des silicates a consisté à vérifier cette éventuelle efficacité dans trois eaux de natures différentes et nous avons tenté d'en expliquer le mécanisme. Nous avons délibérément choisi de travailler sur l'acier non zingué placé dans des conditions reproductibles, afin de limiter le nombre de paramètres susceptibles d'interférer dans les diverses réactions rencontrées.

## 2. Les silicates de métaux alcalins

Pour le traitement des eaux, on emploie normalement les silicates de sodium dont la formule est  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \text{SiO}_2$  [1]<sup>1</sup>. On produit les silicates de sodium par fusion vers 1400°C de mélanges de sable ( $\text{SiO}_2$ ) et de soude ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). En variant leur rapport, on obtient des silicates de rapport  $n$  différent, par exemple le métasilicate de sodium ou verre soluble ( $n = 1$ ), le disilicate de sodium ( $n = 2$ ) ou le trisilicate

de sodium ( $n = 3$ ). En réalité, les silicates utilisés pour le traitement des eaux sont des composés vitreux non stœchiométriques dans lesquels  $n$  peut varier entre 1,6 et 3,8, mais se situe le plus souvent aux environs de 3,2. On peut appliquer les silicates sous forme solide, en les mettant en contact avec l'eau à traiter, ou sous forme de solutions aqueuses en utilisant une pompe doseuse. Cette dernière méthode est plus fiable et elle est aujourd'hui préférée. Les solutions, même commercialisées, contiennent 25 à 55% de silicates de sodium et leur pH est de 11 à 13.

En milieu aqueux, les silicates subissent des réactions de polymérisation et de dépolymérisation selon les conditions de pH et de concentration. Ces réactions sont souvent lentes, ce qui complique singulièrement leur étude. D'après la littérature, il paraît cependant qu'en solution très diluée typique pour une eau traitée, on trouve principalement les monomères de l'acide silicique  $\text{Si}(\text{OH})_4$  et  $\text{SiO}(\text{OH})_3^-$ . Le pH de l'acide silicique est 9,46.

## 3. L'action protectrice des silicates

L'idée d'utiliser les silicates comme inhibiteurs de corrosion dans les tuyauteries en fer fut émise en 1922 par J. C. Tresh [2]. Un peu plus tard, F. N. Speller [3] mit en évidence la formation d'un film de silice à la surface du métal en contact avec de l'eau traitée par des silicates solubles. L. Lehrman et H. L. Shuldener [4] précisèrent que les silicates ne se déposent pas sur le fer propre et que la présence de produits de corrosion, en l'occurrence des oxydes, est nécessaire pour permettre la formation d'un film de silice. D'après ces auteurs, le film superficiel se compose de deux couches, l'une en contact avec le métal est constituée des produits de corrosion, l'autre étant un conglomérat composé de gel de silice mélangé à des composés du fer, du calcium et du magnésium issus de l'eau. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par J. W. Wood, Y. S. Beecher et P. S. Laurence [5] qui, en outre, constatent que pour des eaux contenant des quantités appréciables de magnésium (au-delà de 250 ppm), l'action inhibitrice des silicates est grandement réduite. La formation de composés solubles magnésium-silice rendrait les ions silicates non disponibles pour l'adsorption de silice sur le film d'oxyde de fer, ou cette adsorption se ferait d'une façon normale mais serait

## Résumé

Au cours de cette recherche, on a tenté de définir l'efficacité des silicates de soude employés comme inhibiteurs de corrosion dans les circuits d'eau sanitaire. Pour cela, on a étudié le comportement de plaquettes en acier immergées dans trois eaux de duretés différentes (0, 15 et 23°F) chauffées à 60°C et traitées aux silicates à raison de 10 mg/l en  $\text{SiO}_2$ , pour les eaux ayant 15 et 23°F de dureté, les traitements pour l'eau déionisée étant de 10, 20 et 30 mg/l. L'évolution des paramètres caractéristiques de l'eau et la composition des films formés sur les plaquettes permettent de montrer une certaine efficacité avec l'eau dure et l'eau déionisée traitée à 20 mg/l et plus. Pour l'eau dure, la protection est due à la précipitation de  $\text{CaCO}_3$  sous l'influence des silicates alors que, dans le cas de l'eau déionisée, l'effet protecteur est attribué à l'augmentation du pH pour des traitements égaux ou supérieurs à 20 mg/l.

suivie par la réaction du magnésium avec la silice adsorbée, conduisant à l'altération de la structure chimique de ce film et à la destruction de ses propriétés protectrices.

De leur côté, Weber et Stumm [6] parlent de la formation d'un complexe silicate-fer III. Stumm et Lee [7] signalent que les complexes avec le fer II sont plus importants. Ainsi, la silice et les ions ferreux et ferriques interviendraient dans la formation de la couche protectrice. La silice, sous forme d'acide monosilicique, s'adsorberait sur les surfaces métalliques et réagirait avec  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  pour donner des couches protectrices, cela évidemment dans le cas d'un début de corrosion. D'où une action inhibitrice plus particulièrement anodique puisque la silice présenterait une affinité pour les zones où apparaissent des ions fer avec lesquels elle formerait des complexes peu solubles. Cependant, Dart et Foley [8] ont montré que les silicates avaient la faculté de maintenir en solution de grandes quantités de fer.

Selon Lassiaz et Peguin [9], les silicates réagissent avec l'acide carbonique de l'eau pour donner des couches molles et étanches de gel de silice. En outre, les silicates réagissent avec les constituants de la dureté de l'eau en formant des couches cristallines dures de silicates de calcium. Quant à l'épaisseur du film, Wood et collaborateurs [5] obtiennent, en se fondant sur des mesures de pertes de poids, des valeurs d'environ 30  $\mu\text{m}$ , mais par des mesures au microscope, ces mêmes auteurs observent des épaisseurs dix fois supérieures.

D'après ce qui précède, le traitement par les silicates serait efficace. Cette efficacité n'est cependant pas recon-

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



nue par tous. Ainsi, selon Colas, Rouquet et Boutin [10], le traitement aux silicates à la dose autorisée, soit 10 mg/l en  $\text{SiO}_2$ , n'a pas d'effet sensible sur la corrosion de l'acier et de l'acier galvanisé. Cependant, pour des dosages de l'ordre de 50 mg/l, ces auteurs observent une certaine efficacité en début de traitement. C'est le cas de Stericker [11], de J. L. Briggs [12], de L. Lehrman et H. L. Shuldener [4] et de R. W. Lane, T. E. Larson, C. H. Neff et S. W. Schilky [13] [14] [15], ces derniers travaillant avec l'acier galvanisé. Citons enfin I. L. Rosenfeld [16], pour qui les propriétés protectrices des silicates dépendent de façon marquée du pH du milieu, de la température et de la quantité de sels présente dans l'eau. Selon lui, le rapport  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  donnant la meilleure protection est de 2,4. D'après ce qui précède, le traitement de l'eau par les silicates semble avoir un effet bénéfique sur la corrosion du fer, grâce à la formation d'un film de silice se développant principalement sur les surfaces attaquées. Les auteurs qui contestent cette efficacité observent néanmoins une atténuation de la corrosion pour des dosages nettement supérieurs à ceux permis par le législateur et considèrent que cette amélioration est directement liée à l'augmentation de l'alcalinité du milieu sous l'influence du traitement. Cependant, ils constatent une diminution du phénomène d'eau rouge pour de faibles doses et invoquent un effet secondaire non précisé pour expliquer ce résultat.

Partant du principe que les silicates sont des produits filmogènes basiques, on a cherché à savoir si leur efficacité est réelle et si elle est due à la formation d'un film superficiel ou plus simplement à l'augmentation du pH de l'eau traitée, les deux effets pouvant être complémentaires. Les essais ont été réalisés avec trois eaux ayant des duretés différentes et on a comparé les résultats obtenus dans les eaux non traitées ou traitées aux silicates avec un dosage conforme aux prescriptions en vigueur. Quant à l'influence du pH, elle a été contrôlée en additionnant une quantité de soude équivalant à celle libérée par les 10 mg/l de silicates.

#### 4. Partie expérimentale

##### Appareillage

Le dispositif expérimental est représenté sur la figure 1. Il se compose essentiellement d'une cuve en verre ayant un volume d'environ 40 l, dans laquelle sont immergées les plaquettes métalliques servant aux essais. Cette cuve est alimentée en continu en eau et en réactifs (silicates, soude) grâce à une pompe péristaltique à 12 voies permettant d'introduire des quantités connues de ces divers réactifs en par-

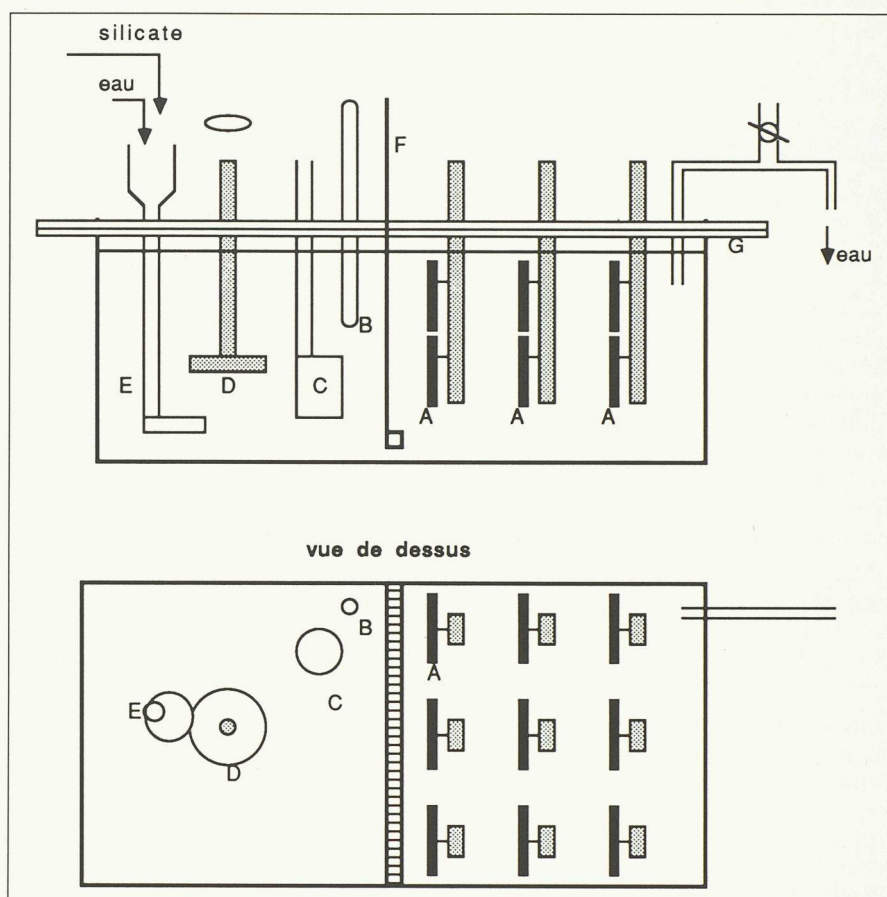


Fig. 1. — Dispositif expérimental.

A: plaquettes; B: thermomètre; C: thermostat; D: agitateur; E: amenée des réactifs; F: barbotage d'air; G: couvercle.

tant de solutions dont les concentrations sont calculées en fonction du dosage choisi et du débit de la pompe. La cuve est équipée d'un thermostat à immersion assurant le chauffage et le brassage de l'eau aérée par un barbotage d'air respiratoire. De plus, elle est fermée par un couvercle en plexiglas sous lequel sont fixées neuf tiges servant à la fixation des plaquettes. Le trop-plein de la cuve est rejeté à l'évier par un système de siphon.

Le débit global est compris entre 0,7 et 1 l/h. L'évaporation est compensée par l'apport d'eau déionisée afin de maintenir constante la concentration des réactifs.

##### Echantillons

Toutes les expériences sont faites à  $60^\circ\text{C} \pm 1$  sur des plaquettes en acier St 37-2 laminé à froid de  $50 \times 50 \times 2$  mm, chaque plaquette étant percée d'un trou permettant sa fixation sous le couvercle. La composition de l'acier est la suivante:

Mn:	0,23 %
Si:	0,036 %
C:	0,05 %
P et S:	< 0,05 %

Les plaquettes sont dégraissées et sablées à Sa 2 1/2 avant les essais.

##### Eaux et réactifs

Les essais sont effectués dans trois types d'eau:

##### - eau du réseau

Il s'agit d'une eau potable provenant du lac Léman, dont les principales caractéristiques sont:

pH:	8,1
dureté totale:	14,5°F
dureté carbonatée:	9,5°F
silice:	2 mg/l
calcium:	45 mg/l
magnésium:	6 mg/l
chlorures:	6 mg/l
sulfates:	46 mg/l

##### - eau déminéralisée

Produite par passage de l'eau du réseau sur une résine échangeuse d'ions. Cette eau a un pH de 6,3, sa dureté est nulle et sa résistivité à la sortie de la résine est de  $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ .

##### - eau dure

C'est une eau artificielle préparée par barbotage d'anhydride carbonique dans de l'eau du réseau contenant du carbonate de calcium maintenu en suspension par agitation. L'eau ainsi obtenue a une dureté d'environ 80°F. Elle est ensuite mélangée à de l'eau du réseau afin d'obtenir une dureté de  $23^\circ\text{F} \pm 1$ , le pH étant compris entre 6,3 et 6,9. Quant aux réactifs utilisés, il s'agit de silicates préparés à partir d'une solution commerciale Merck ayant un rapport  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  égal à 3,5. Les doses employées pour les essais avec l'eau du réseau et l'eau dure



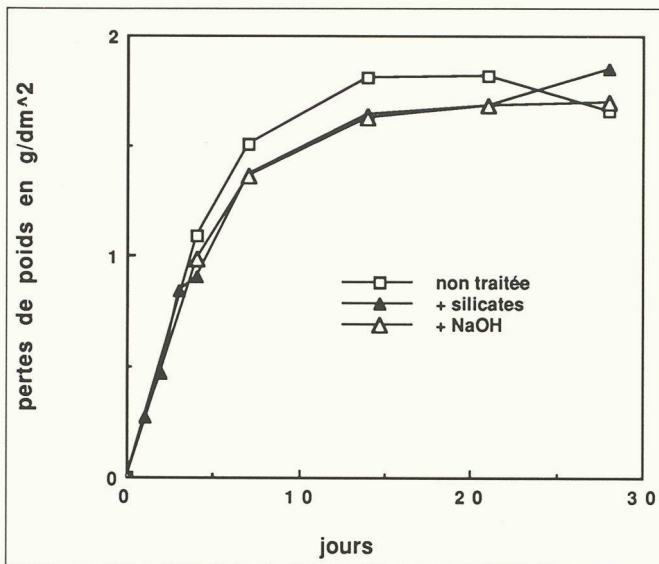


Fig. 2.— Pertes de poids dans l'eau du réseau.

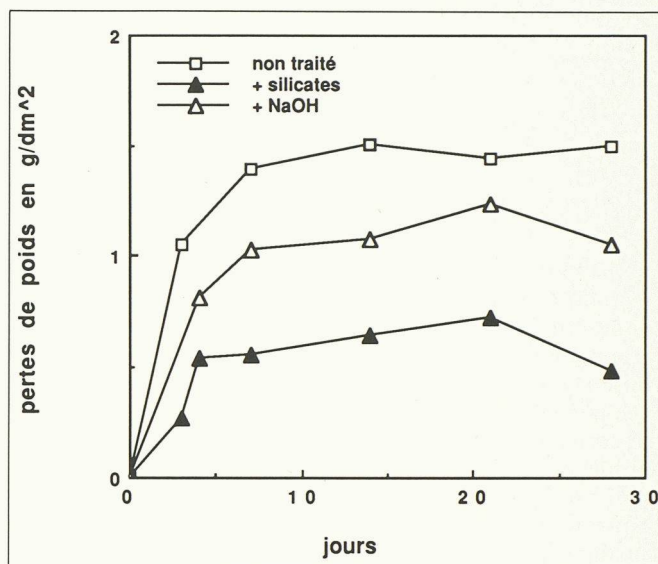


Fig. 3.— Pertes de poids dans l'eau dure.

sont de 10 mg/l en SiO<sub>2</sub>. En plus, on effectue des essais avec une solution de soude caustique ayant le même pH qu'une solution de silicates à 10 mg/l.

*Analyses*

Au cours des différents essais, on a systématiquement contrôlé les concentrations en silicates et en soude caustique des eaux utilisées ainsi que leur pH et leur dureté. Certaines plaquettes ont été observées au microscope à balayage et les films formés ont été analysés par absorption atomique et aux RX à l'aide d'un diffractomètre à compteur en utilisant la raie K $\alpha$  du cuivre.

Pour déterminer les pertes de poids, les plaquettes ont été décapées dans HCl, 12N additionné de chlorure d'antimoine.

Tous les décapages ont été effectués à 27°C suivant le même mode opératoire. Des essais réalisés sur des plaquettes sablées non corrodées ont montré que l'attaque de l'acier lors du décapage est négligeable. En effet, celle-ci est d'environ 1 mg par minute d'immersion, ce qui représente une perte de poids de 1,9 mg/dm<sup>2</sup>, la durée de décapage n'excédant pas 10 minutes.

*Mode opératoire*

Les mélanges effectués dans la cuve sont réalisés à la température ambiante (additions de NaOH, de silicates et le mélange des eaux dure et du réseau). Puis on porte la température à 60°C et on immerge les plaquettes. Les prélèvements destinés aux mesures de pertes de poids se font à intervalles réguliers (1, 2, 4... 28 jours), l'emplacement des plaquettes prélevées étant quelconque. Celles-ci sont remplacées par de nouvelles plaquettes destinées aux mesures suivantes.

**5. Résultats**

**5.1 Essais avec l'eau du réseau**

Dans la première série d'essais, effectuée avec l'eau du réseau, on a comparé le comportement de plaquettes en acier préalablement sablées immergées dans l'eau non traitée, dans l'eau traitée aux silicates ou additionnée de soude caustique, suivant le mode opératoire décrit précédemment. Les résultats des pertes de poids sont consignés dans la figure 2.

Les pertes de poids obtenues avec les plaquettes immergées dans l'eau traitée aux silicates et dans l'eau additionnée de soude caustique sont très proches. Elles sont également comparables à celles obtenues avec les plaquettes placées dans l'eau du réseau non traitée. Le traitement aux silicates semble, dans ce cas, ne pas avoir d'effet sensible sur le comportement des plaquettes vis-à-vis de la corrosion. Ce manque d'efficacité est probablement lié au dosage trop faible qui, comme on peut le voir sur le tableau 1, n'apporte pas de différences importantes entre

les pH et les duretés des eaux employées.

D'après la figure 2, les plaquettes corrodent rapidement en début d'expérience, puis l'attaque est freinée par les produits de corrosion. L'examen visuel des plaquettes montre que l'attaque est relativement uniforme. Les RX indiquent que la couche formée à la surface du métal est constituée de magnétite et de calcite. L'analyse par absorption atomique révèle la présence de silice dans ces produits de corrosion, mais en quantités très faibles et sans lien avec le traitement, comme le montre le tableau 2. Rappelons que l'eau du réseau contient environ 2 mg/l de SiO<sub>2</sub>.

**5.2 Essais avec l'eau dure**

Cette série d'essais ne diffère de la précédente que par le remplacement de l'eau du réseau par une eau dure artificielle ayant une dureté moyenne de 23°F. La figure 3 donne les pertes de poids mesurées.

Contrairement aux résultats des essais effectués avec l'eau du réseau, on observe ici un net ralentissement de la

TABLEAU 1. - Valeurs moyennes des pH et des duretés pendant l'essai.

	Eau du réseau non traitée	Eau du réseau + silicates	Eau du réseau + soude
pH	8,67 ± 0,15	8,80 ± 0,10	8,60 ± 0,10
Dureté (°F)	12,5 ± 1,7	11,5 ± 0,8	10,9 ± 0,80

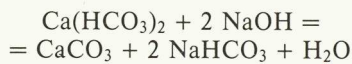
TABLEAU 2. - Composition des produits de corrosion formée lors des essais avec l'eau du réseau.

	Eau du réseau non traitée	Eau du réseau + silicates	Eau du réseau + soude
% SiO <sub>2</sub>	env. 1,1	env. 0,9	-
% CaCO <sub>3</sub>	53,2	54	53,2
% Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	env. 45	env. 45	env. 45



corrosion en présence de silicates. L'addition de soude caustique a également un effet positif mais moins prononcé. Dans les trois cas, la corrosion s'arrête pratiquement après une dizaine de jours. L'apparente décroissance des courbes de la figure 2 au-delà de vingt jours est attribuée à un artefact de mesure. Le tableau 3 montre que l'addition de silicates à l'eau dure ne modifie pas son pH. Celui-ci semble conditionné surtout par la présence de carbonates (dureté), comme on peut le voir en comparant les colonnes 1 ou 2 avec la colonne 3 du tableau 3.

La corrosion des plaquettes placées dans l'eau dure non traitée est relativement uniforme. Il n'en est pas de même dans l'eau additionnée de soude caustique et surtout dans celle traitée aux silicates. Ici l'attaque ne concerne qu'une faible partie de la surface métallique, le reste étant protégé par un dépôt compact et adhérent de calcite sous lequel le métal est sain. La calcite est également présente sur les zones corrodées et recouvre les amas de magnétite formés lors de l'attaque. L'analyse de ces amas donne des concentrations en carbonate de calcium comprises entre 68 et 93%. En revanche, les quantités de silice trouvées sont faibles puisque situées entre 1,2 et 2,3%. Ces valeurs indiquent que la protection n'est pas due à la formation d'un film de silice mais bien à un dépôt de calcite. Celui-ci provient en partie du déplacement de l'équilibre calco-carbonique de l'eau sous l'effet de la température, mais aussi de l'alcalinisation produite par les silicates. Ceux-ci en effet libèrent de la soude caustique qui peut réagir avec le bicarbonate de calcium de l'eau et provoquer la précipitation du carbonate selon la réaction :



L'action bénéfique du traitement aux silicates dans l'eau dure peut s'expliquer par cette réaction.

De la même façon, la simple addition de soude en quantité équivalant à celle libérée par les silicates devrait produire un effet comparable. On constate que ce n'est que partiellement le cas. La différence de comportement provient vraisemblablement de la façon dont l'expérience est conduite dans sa phase initiale. Les mélanges effectués dans la cuve (eau dure, eau du réseau et solution de soude) sont faits à la température ambiante et les plaquettes sont immergées quand l'eau est à 60°C. Or l'eau dure, de par sa préparation, contient un excès de  $\text{CO}_2$  non équilibrant qui réagit avec la soude pour former du  $\text{NaHCO}_3$ , lequel peut contrecarrer la précipitation du carbonate et participer à la formation d'un tampon.

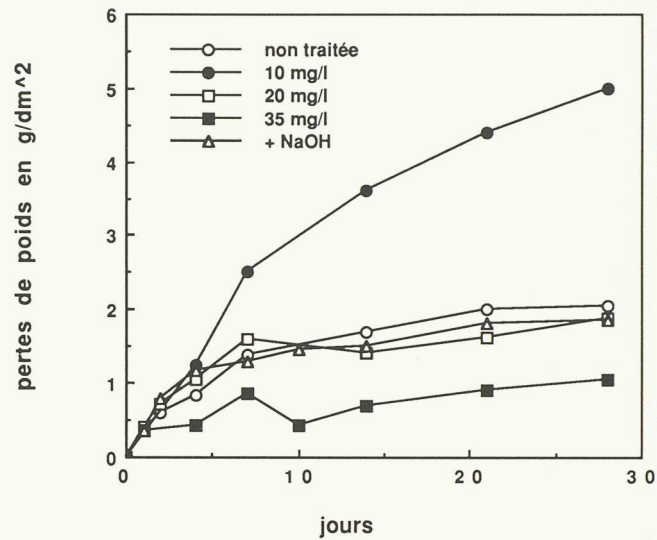


Fig. 4. — Pertes de poids dans l'eau déionisée.

### 5.3 Essais avec l'eau déionisée

Pour cette dernière série d'essais, les plaquettes ont été immergées dans de l'eau déionisée non traitée ou additionnée de NaOH, et dans de l'eau traitée aux silicates avec des dosages à 10, 20 et 35 mg/l. La figure 4 contient les valeurs des pertes de poids obtenues, chaque point étant la moyenne de 8 mesures.

Les données de la figure 4 montrent un résultat inattendu ; l'addition de 10 mg/l de silicates augmente de façon importante la corrosion dans l'eau non traitée. En revanche, avec un dosage à 20 mg/l, un effet bénéfique est obtenu. Les résultats à 30 mg/l ou en présence de NaOH sont comparables à ceux observés dans l'eau non traitée. Le tableau 4 donne des informations sur le pH, la résistivité de l'eau, la teneur en silice des dépôts et la nature de l'attaque observée. On remarque que l'ajout de silicates augmente le pH et diminue la résistivité de l'eau. L'ajout de silicates en quantité importante favorise l'apparition d'attaques locales. Notons que les couches de produits de corrosion contiennent très peu de silice (2-6%). Il s'agit principalement d'oxydes de fer, notamment de la magnétite.

Deux causes peuvent expliquer les résultats de la figure 4. D'une part, l'ajout de silicates à l'eau déionisée augmente son pH, mais également la conductivité du milieu favorisant ainsi le développement de piles de corrosion. Il est probable, comme le signale I. L. Rosenfeld [16], que de légers dépôts de silice se forment sur la surface métallique, avec une répartition quelconque, accentuant localement l'attaque. L'observation après décapage de plaquettes immergées dans l'eau déionisée ayant subi un traitement aux silicates à 10 mg/l révèle effectivement l'existence de micropores à la surface du métal, alors que sur les plaquettes placées dans l'eau

TABLEAU 3. — pH moyen des eaux dures et duretés finales.

	Eau dure non traitée	Eau dure + silicates	Eau dure + soude
pH	8,6 ± 0,1	8,5 ± 0,2	8,07 ± 0,05
Dureté (°F)	14	13,8	12

TABLEAU 4. — Données sur l'eau et les dépôts.

	Eau déionisée	Eau avec silicates 10 mg/l	Eau avec silicates 20 mg/l	Eau avec silicates 35 mg/l	Eau avec soude
pH	5,9-6,7	7,0-7,6	7,4-8,0	8,2-8,8	7,0-7,6
Résistivité (Ω · cm)	180 000		27 000	23 000	49 000
% silice (dépôts)		2-2,7	2-6	4-6,4	
Nature de l'attaque	uniforme	localisée	localisée	localisée	uniforme



non traitée ou dans l'eau additionnée de soude la corrosion est pratiquement uniforme. Or il est certain que pour ces deux derniers cas, il n'y a pas de déposition de silice.

Sur les plaquettes immergées dans l'eau traitée à 20 et 35 mg/l en silicates, on observe également de petits cratères aux emplacements des zones corrodées, là où les dépôts de silice se sont formés. Cependant, ici l'élévation du pH freine apparemment la corrosion locale.

## 6. Conclusions

Les différents essais effectués dans cette étude permettent de tirer plusieurs conclusions. Contrairement à certains auteurs, on n'a jamais observé la formation de films de silice. Les films formés contenaient soit des oxydes de fer soit des carbonates de calcium et leur teneur en silice ne dépassait guère quelques pour-cent. Malgré cela, une action protectrice des silicates a été observée dans certaines conditions bien précises, à savoir 10 mg/l dans l'eau dure et 20 mg/l dans l'eau déionisée.

Pour l'eau dure, la protection constatée est due à la précipitation d'un film de tartre favorisée par la présence des silicates. L'action protectrice dans l'eau déionisée est attribuée à l'augmentation du pH. Mais si le dosage des silicates dans l'eau déionisée est insuffisant, leur présence augmente la corrosion probablement à cause d'une augmentation de la conductivité de

## Bibliographie

- [1] KATSANIS, E. P.; ESMONDE, W. B.; SPENCER, R. W.: *Materials Performance* 25, N° 5, 19, 1986.
- [2] TRESH, J. C.: *Analyst*, 47, 459, 1922.
- [3] SPELLER, F. N.: *Corrosion, Causes and Prevention*, McGraw-Hill, New York, 1926.
- [4] LEHRMAN, L.; SHULDENER, H. L.: «Corrosion», *NACE*, 16, 126, 1960.
- [5] WOOD, J. W.; BEECHER, Y. S.; LAURENCE, P. S.: «Corrosion», *NACE*, 13, 126, 1957.
- [6] STUMM, W.; WEBER, W.: *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 27, 237, 1960.
- [7] STUMM, W.; LEE, G. F.: *Schweiz. Z. Hydrol.*, 22, 295, 1960.
- [8] DART, F. J.; FOLEY, P. D.: *J.A.W.W.A.* 62, 10, 663, octobre 1970. *J.A.W.W.A.* 64, 4, 244, avril 1972.
- [9] LASSIAZ, L.; PEGUIN, P.: *Cahiers du CSTB*, N° 1297, livr. 156, janvier 1975. *Cahiers du CSTB*, N° 1401, livr. 174, novembre 1976.
- [10] COLAS, L.; ROUQUET, J.; BOUTIN, J.: *La Technique de l'Eau*, N° 262.
- [11] STERICKER, W.: *Ind. Chem.* 37, 716, 1945; 30, 348, 1938.
- [12] BRIGGS, J. L.: *Materials Protection and Performance* 13, 20, janvier 1974.
- [13] LANE, R. W.; LARSON, T. E.; NEFF, C. H.; SCHILSKY, S. W.: *Materials Protection and Performance* 12, 32, avril 1973.
- [14] LANE, R. W.; LARSON, T. E.: «Water Treatment Techniques and Corrosion Monitoring», Paper No. 86 presented at NACE Committee T-7B Symposium at Chicago III, March 25, 1971.
- [15] LANE, R. W.; LARSON, T. E.; SCHILSKY, S. W.: *J.A.W.W.A.* 69, 8, août 1977.
- [16] ROSENFELD, I. L.: *Corrosion Inhibitors*, McGraw-Hill, New York, 1981.

l'eau, ce qui favorise la formation de piles de corrosion et l'attaque locale. Dans d'autres situations, par exemple dans l'eau de réseau, on n'a constaté aucun effet marqué dû à la présence des silicates.

Pour la pratique, les résultats de notre étude suggèrent que, pour obtenir un effet bénéfique dans les eaux douces, il faut travailler si possible avec des doses supérieures à 10 ppm au moins dans une phase de démarrage, comme cela est d'ailleurs recommandé par certains auteurs [11] [12] [13]. Il est pro-

bable que, pour maintenir une protection, des concentrations plus faibles, correspondant aux normes légales, seront ensuite suffisantes, mais cet aspect ne faisait pas partie de l'étude présentée.

## Adresse des auteurs:

Michel Colin et Dieter Landolt  
Ecole polytechnique fédérale  
Département des matériaux  
Laboratoire de métallurgie chimique  
CH-1007 Lausanne

## Bibliographie

### Les systèmes intelligents basés sur la connaissance

par William James Black. - Un vol. 16x24 cm, broché, 192 pages, 80 figures. Masson éditeur, Paris, 1988. Prix: FF 160.00.

Ce livre est consacré aux systèmes et aux méthodes informatiques qui traitent des «connaissances», c'est-à-dire aux applications que l'on classe souvent sous l'expression «intelligence artificielle» (IA). Il ne présuppose aucune connaissance de l'intelligence artificielle et peut donc servir comme cours de base en introduction à l'IA.

Au fil des chapitres, il présente les systèmes experts (en quoi ils diffèrent des autres applications avancées); il donne une évaluation du Prolog (puissance du langage illustrée par des exemples variés, notamment la construction des systèmes experts); il traite de la représentation des connaissances (compa-

rant la logique de premier ordre, Prolog, les réseaux sémantiques et les «frames») et de l'aspect génie logiciel de la construction d'un système expert, pour aborder enfin la génération automatique de plans

### Le Guide suisse de l'Informatique

Après la parution du *Guide des Assurances*<sup>1</sup>, une équipe de spécialistes s'est remise au travail et éditera prochainement un autre guide unique en son genre: le *Guide suisse de l'Informatique*.

Conçu dans un langage simple et clair, ce nouvel ouvrage offrira à tous les chefs d'entreprise et indépendants, ainsi qu'à toutes les personnes intéressées

<sup>1</sup> Voir IAS 14/88, p. B 105.

(exposée du point de vue de la résolution de problèmes) et la contribution de l'IA à l'apprentissage. Le reste de l'ouvrage est consacré à la compréhension automatique du langage naturel.

Chaque chapitre se termine par un résumé des points essentiels et par un recueil d'exercices.

par les problèmes informatiques, une vue globale sur l'ensemble de cette matière complexe et en perpétuelle évolution. Ce document de synthèse traitera, entre autres, de l'informatique en général, des critères de choix et de la mise en place d'un système informatique, de la presse spécialisée, de la maintenance du matériel et de logiciels, etc. Il contiendra en outre un glossaire, facilitant la compréhension du vocabulaire

spécialisé propre à l'informatique. D'une utilisation aisée, le *Guide suisse de l'Informatique* se présente sous la forme d'un classeur à anneaux dont le contenu bénéficiera d'une remise à jour annuelle.

Le *Guide suisse de l'Informatique* est offert dès maintenant, en souscription jusqu'au 30 septembre 1988, au prix spécial de Fr. 245.- au lieu de Fr. 285.-. L'édition de ce manuel pratique est largement soutenue par la Chambre vaudoise du commerce et de l'industrie, la Chambre neuchâteloise du commerce et de l'industrie, la Fédération des syndicats patronaux à Genève, la Chambre fribourgeoise du commerce et de l'industrie, ainsi que la Fédération économique du Valais/Chambre valaisanne du commerce et de l'industrie, qui assurent la diffusion de cet ouvrage dans leurs cantons respectifs.

Renseignements et commandes: le *Guide suisse de l'Informatique*, Jean-Marc Blanc SA, case postale 195, 1052 Le Mont-sur-Lausanne, tél. 021/33 6033.