

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 113 (1987)
Heft: 18

Artikel: Problèmes spécifiques de corrosion en technique de fixation
Autor: Bindschedler, Daniel / Seghezzi, Hans-Dieter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76409>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Problèmes spécifiques de corrosion en technique de fixation

par Daniel Bindschedler et Hans-Dieter Seghezzi, Schaan/FL

1. Introduction

Partout où l'on construit, on emploie des fixations – sur tous les matériaux supports qui existent, et vont du béton armé au métal léger. Mais la diversité des matériaux supports n'est rien, comparée à la diversité des éléments de structure à fixer, qui vont des encadrements de portes aux lourdes dalles de façades et aux consoles-supports de rails de ponts roulants, en passant par les tuyauteries et les appareillages.

Les fixations ont pour but de maintenir en permanence une configuration géométrique déterminée entre un matériau support et une pièce à fixer, et de transmettre les forces qui s'exercent. Elles doivent en général être à même d'assurer cette fonction pendant plusieurs décennies, indépendamment des influences atmosphériques, des processus de vieillissement ou des attaques de la corrosion. Lors de la conception de fixations, il est donc nécessaire de tenir compte, en plus de leur comportement mécanique en charge, de leur tenue dans le temps, lorsqu'elles sont soumises à des variations de température, et de leur résistance à des atmosphères corrosives.

La catastrophe survenue à la piscine couverte d'Uster, en 1985, a parfaitement mis en lumière les conséquences désastreuses que peut avoir la corrosion de fixations. C'est en effet la corrosion de suspensions qui provoqua l'effondrement du plafond en béton, qui pesait environ 200 tonnes, entraînant la mort de 12 personnes.

2. Problèmes de corrosion en technique de fixation

2.1 Conditions spécifiques de corrosion d'éléments de fixation

Tandis qu'un grand nombre d'éléments de structure sont soumis à une contrainte de corrosion plus ou moins homogène, les éléments de fixation se trouvent habituellement en contact aussi bien avec le matériau support et l'élément à fixer qu'avec l'atmosphère. Ils peuvent donc être soumis, dans les différentes zones, à toutes sortes d'influences dues à la corrosion.

Par ailleurs, on ne doit pas oublier non plus que les éléments de fixation se trouvent généralement contre la surface des matériaux de construction ou à proximité. Or, c'est justement dans cette zone que peuvent se produire, avec le temps,

des changements de nature chimique qui influent sur la tenue à la corrosion des fixations : on observe par exemple la carbonatation, en général très rapide, des joints en mortier de ciment qui, de ce fait, n'offrent au bout de peu de temps plus aucune protection dans le cas d'éléments en acier non allié.

L'appréciation du risque de corrosion d'organes d'éléments de fixation soumis à l'atmosphère extérieure peut sembler relativement simple à première vue. On trouve dans la littérature des valeurs de taux de corrosion des différents métaux usuels, déterminées par expérience, sous divers climats [1], [2], [3]¹. Mais il faut tenir compte du fait que les éléments de fixation sont fortement soumis aux effets des meso- et microclimats, qui peuvent résulter aussi bien des conditions atmosphériques (émissions) que des données de construction. Ainsi, par exemple, de nombreux éléments de fixation (une certaine partie du moins) ne sont pas directement soumis à l'atmosphère extérieure, mais se trouvent dans des cavités et intervalles, comme c'est le cas dans des maçonneries à double voile ou derrière des façades à lame d'air ventilée. Là, les conditions de corrosion peuvent varier énormément suivant les conditions de ventilation et différer de celles de l'atmosphère extérieure. Dans le cas de systèmes ouverts, si la ventilation à l'arrière est insuffisante, il faut s'attendre à la formation fréquente de condensation d'eau dans de telles zones, pouvant entraîner des effets importants de corrosion dans le cas d'éléments de structure en zinc et en acier. Cette situation s'aggrave dans le cas de fixations métalliques, si ces dernières sont directement en contact avec l'atmosphère extérieure. Dans le cas de variations de température et du fait du rayonnement thermique nocturne, les éléments de fixation se refroidissent plus rapidement que l'air situé dans l'intervalle, de sorte que, à la surface des éléments de fixation, la température descendant en dessous du point de rosée, il risque de se former de la condensation d'eau.

Si l'air pénétrant dans l'intervalle contient des éléments polluants, tels que des chlorures par exemple, ces derniers peuvent se concentrer au cours du temps et, dans le cas de matériaux sensibles à ce phénomène, si leur concentration dépasse une concentration critique, pro-

voquer des phénomènes de corrosion qui n'apparaissent pas dans le cas d'applications extérieures car là, à un moment ou à un autre, les éléments polluants sont lavés par la pluie. Par ailleurs, lorsque la pluie ne remplit pas cette fonction de lavage, le sel de déneigement entraîne des contraintes particulièrement importantes qui se combinent aux gaz d'échappement acides et sont aussi la cause de l'apparition de corrosion par piqûres sur les aciers chrome-nickel «inox» utilisés pour des applications dans les tunnels routiers.

2.2 Types de dégâts dus à la corrosion et actions anticorrosives

On parle de manière générale de dommages ou dégâts dus à la corrosion lorsqu'un processus de corrosion porte atteinte à la fonction d'un élément de structure ou d'un système entier [5]. Le grippage d'écrous de liaisons démontables, par exemple, et la formation de traînées de rouille due à la corrosion superficielle d'éléments de fixation, gênants pour l'esthétique d'une façade, doivent être considérés comme des dégâts dus à la corrosion même s'ils ne nuisent pas à la capacité de charge de la fixation.

En pratique, les éléments de fixation sont soumis à des contraintes très complexes. Suivant le type de matériau et les conditions d'utilisation, différents types de corrosion peuvent apparaître, entraînant diverses sortes de dégâts. Quelques exemples sont récapitulés dans le tableau de la page suivante.

- La corrosion en surface uniforme : elle apparaît par exemple sur des éléments en acier zingué soumis directement aux intempéries et est souvent considérée comme le type de corrosion le moins dangereux car, normalement, la formation de produits de corrosion laisse déjà présager des dégâts éventuels dus à la corrosion [1]. Mais il faut signaler que le «caractère non dangereux» ne s'applique qu'à la possibilité de déceler à temps des signes de corrosion sur des éléments de fixation et/ou organes d'éléments de fixation visibles ou démontés, mais non à la fréquence des dégâts dus à la corrosion.

Par ailleurs, comme déjà mentionné précédemment, les produits de corrosion souvent très importants qui apparaissent pendant la longue durée d'utilisation peuvent avoir aussi des effets négatifs sur la capacité de charge des fixations.

- La corrosion par piqûres : typique surtout des matériaux dont la bonne résistance à la corrosion repose sur la formation de couches de passivité ; à l'état avancé, elle peut conduire aussi à des diminutions critiques de sections. Mais ce qui est plus dangereux, c'est généralement la diminution de la résistance à la fatigue sous contrainte dynamique, due aux «effets d'en-taille».

¹Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

Exemples de phénomènes de corrosion d'éléments de fixation dans la construction.

Type de corrosion	Matière	Conditions d'utilisation	Dégâts possibles dus à la corrosion
Corrosion uniforme	acier zingué aluminium	- à l'extérieur, éléments soumis directement aux intempéries - à l'intérieur, ainsi que dans des intervalles et des cavités où l'air est très humide - dans du béton carbonaté - dans le bois - dans des matériaux de construction fortement alcalins, par exemple le béton	- défaillance de la fixation après réduction de la section - grippage d'éléments filetés - éclatement du béton dû au gonflement de produits de corrosion - préjudice à l'esthétisme - dysfonctionnement de l'auto-expansion de chevilles
Corrosion localisée* - tuberculisation	acier zingué	- dans des conditions de transport/stockage défavorables - dans la zone du trou de forage	identiques à ceux de la corrosion uniforme, en plus diminution de la résistance à la fatigue
Corrosion par piqûres	acières inox alliages d'alu	sous l'effet d'halogénures (chlorures)	
Fragilisation par hydrogène	acières non alliés de résistance > 1000 N/mm ² **	sous l'effet de l'hydrogène, par exemple à partir de réactions de corrosion	
Corrosion sous contrainte par fissures	acier chrome-nickel austénitique alliages au cuivre (laiton)	sous l'effet de films électrolytiques à forte teneur en sels (chlorures), acides et/ou oxydants (piscines couvertes) sous l'effet de solutions ammoniacales	ruine soudaine par fissuration sans diminution de section

* La corrosion galvanique peut favoriser l'apparition de phénomènes de corrosion localisée.

** Valeur indicative: ne doit pas être considérée comme une valeur limite absolue.

- La fragilisation par l'hydrogène² et la corrosion sous contrainte par fissures doivent être considérées en principe comme des types de corrosion très dangereux car, pratiquement, ils peuvent conduire à la rupture spontanée des fixations sans signe extérieur visible. Il y a lieu cependant de signaler que, jusqu'ici, ces phénomènes de corrosion n'ont été observés dans la pratique de construction que dans quelques conditions d'utilisations très spécifiques.

Pour prévenir tous dégâts dus à la corrosion d'éléments de fixation, on applique les actions anticorrosives suivantes:

- Utilisation de matériaux résistant à la corrosion dans les conditions données. Dans le domaine de la construction, il s'agit principalement d'acières inox, d'alliages à l'aluminium et au cuivre. Mais ces matériaux sont généralement relativement chers ou ne présentent qu'une moindre résistance.

- Utilisation d'éléments de fixation à revêtement anticorrosif.

Ici, on utilise en premier lieu l'acier zingué. Dans les conditions atmosphériques, les couches de zinc offrent une résistance à la corrosion environ 10 fois plus élevée que l'acier non allié et, dans des conditions favorables, offrent une protection cathodique à l'acier. Dans le cas d'éléments de fixation galvanisés à chaud (galvanisation des pièces), les deux tiers environ de la

couche protectrice sont constitués de couches d'alliage fer/zinc [7]. Certes, du point de vue protection contre la corrosion, celles-ci sont comparables à une couche de zinc pur mais, contrairement à cette dernière, elles donnent naissance à des produits de corrosion rouges qui, peu de temps après utilisation, peuvent déjà nuire à l'esthétisme de la fixation, quoique le matériau support n'ait pas (encore) été attaqué. Si le revêtement est suffisamment résistant aux sollicitations mécaniques et aux UV, on peut utiliser aussi, dans certains cas, des revêtements organiques pour les éléments de fixation.

- Barrière contre la pénétration de fluides corrosifs.

On peut éviter la pénétration de fluides corrosifs en passant ultérieurement des couches de peinture, en utilisant des éléments de recouvrement ou en prenant d'autres mesures au niveau de la construction.

- Pour éviter la corrosion par contact, isolation des métaux en contact.

A cet effet, on utilise généralement des rondelles d'appui en plastique. Mais il arrive que, dans certaines conditions défavorables (fixations submergées, films électrolytiques épais, détériorations lors du montage), elles ne remplissent pas toujours les conditions exigées.

Il est avantageux d'isoler non seulement la tête de l'élément de fixation, mais aussi sa tige, du métal en contact, ce qui permet d'éviter complètement tout contact électrique entre les deux métaux en contact et tout risque de corrosion par contact.

Pour conclure, signalons encore que les matériaux et revêtements doivent être choisis très soigneusement et être parfaitement adaptés entre eux si on veut obtenir un fonctionnement optimal des éléments de fixation. Toute modification ultérieure, quelle qu'elle soit, des éléments avant le montage, par exemple l'application de revêtements anticorrosifs supplémentaires, peut fortement influer sur les caractéristiques mécaniques des éléments de fixation ; il y a donc lieu d'éviter toute modification, ou du moins il est conseillé de demander l'accord préalable du fabricant.

3. Corrosion de chevilles dans la zone d'ancre

Dans la zone d'ancre de chevilles règnent des conditions de corrosion très spécifiques. Pour les chevilles métalliques mécaniques, dans le cas d'applications sur béton, ces conditions peuvent être caractérisées comme suit:

- L'élément de fixation n'est pas scellé et n'est donc pas entouré solidement de béton sur toute la longueur engagée dans le matériau support. Dans l'interstice situé entre la paroi du trou et la cheville peuvent pénétrer, de l'extérieur, de l'humidité et des fluides agressifs, provoquant ainsi la corrosion des éléments de fixation.

- Normalement, la longueur des éléments de fixation s'étend jusqu'à la surface du matériau support. Une partie de la cheville se trouve donc normalement dans le béton carbonaté où les éléments en acier non allié ne sont pas protégés de la corrosion par une

² Des mesures appropriées doivent être prises afin d'éviter toute fragilisation par l'hydrogène des éléments de structure pendant le processus de production (par exemple pendant la réalisation des traitements de surface).

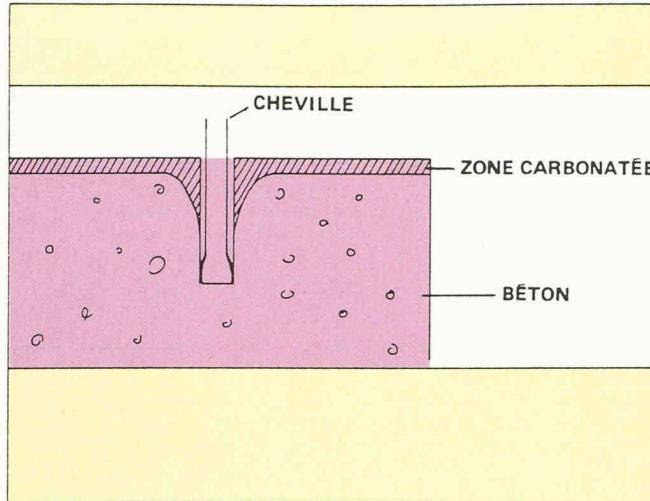


Fig. 1. — Carbonatation du béton dans la zone de chevilles mécaniques.

couche de passivité. Par ailleurs, du fait de la pénétration de CO_2 à travers l'interstice situé entre la cheville et le béton, la paroi du trou se carbonate rapidement (fig. 1).

Un essai d'exposition aux intempéries a montré qu'au bout de quatre ans, la carbonatation s'étendait déjà sur une profondeur de 2,5 cm. Dans le béton tout autour, en comparaison, la zone carbonatée s'étendait sur une profondeur allant jusqu'à 8 mm.

- Lors de nombreuses applications, comme par exemple lors de la fixation de façades à lame d'air ventilée, les chevilles présentent le phénomène de pont thermique. Dans le cas d'applications extérieures, l'humidité relative de l'air, dans la zone du trou, est très élevée (toujours supérieure à 80% si la cheville est directement soumise aux intempéries) de sorte que, dès qu'interviennent des variations de température relativement faibles, comme c'est le cas avec l'alternance du jour et de la nuit, il faut s'attendre que la température de la cheville descendra en dessous du point de rosée (fig. 2, [8]). Il se forme donc de la condensation d'eau qui entraîne la corrosion des éléments en zinc et en acier, même dans la zone du trou.

- Dans la zone du trou, compte tenu de la mauvaise ventilation et des effets de la carbonatation, on peut prévoir des conditions localement diverses du fluide corrosif (diminution de la teneur en oxygène plus la profondeur du trou augmente, valeur de pH différente dans le béton alcalin ou carbonaté). Ce phénomène peut entraîner la formation d'éléments de corrosion (corrosion par aération différentielle, corrosion par différence de pH due à la carbonatation) et peut provoquer des phénomènes de corrosion localisée (dans les zones anodiques) sur les éléments de fixation [4], [9].

Compte tenu des conditions décrites, il est évident qu'il est nécessaire de mener des actions anticorrosives adaptées aux

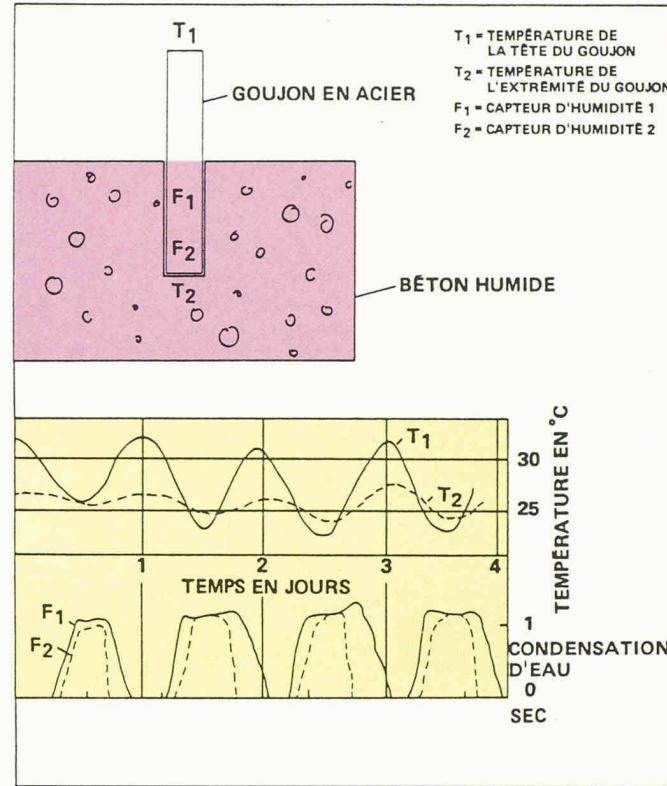


Fig. 2. — Essai type destiné à démontrer la formation de condensation d'eau d'éléments métalliques dans la zone du trou lors de variations de température dans l'atmosphère [8].

conditions d'application respectives, même pour les éléments de chevilles qui se trouvent dans la zone du trou. Nous énumérons ci-dessous les actions principales pour les chevilles.

Utilisation d'éléments de fixation dotés d'un revêtement

On utilise en premier lieu des chevilles en acier zingué. Si l'on exige de la fixation une grande longévité, on utilisera des éléments de fixation galvanisés, revêtus de couches protectrices types de 5 à 10 μ d'épaisseur, seulement dans le cas d'applications intérieures au sec. Si on utilise ces éléments pour des applications à l'extérieur, on peut prévoir que leur matière de base sera attaquée par la corrosion peu de temps après leur utilisation. Cette corrosion se manifeste d'abord sous forme d'exfoliation, de corrosion par piqûres (fig. 3) à la limite, auxquelles peut se superposer au cours du temps un phénomène de corrosion en surface.

Au cours des essais d'exposition aux intempéries que nous avons menés, on a mesuré au bout de quatre à sept ans d'exposition directe (fig. 4) d'éléments à l'intérieur du béton, des profondeurs de corrosion maximales de 150 à 350 μ selon l'agressivité de l'atmosphère extérieure. Une étude allemande [7] montre cependant que des phénomènes importants de corrosion peuvent aussi se manifester dans la zone du trou, même lorsque les éléments de fixation ne sont pas exposés directement à l'atmosphère extérieure, comme par exemple dans le cas de façades à lame d'air ventilée. Il est intéressant

de noter que les chevilles peuvent être bien plus attaquées par la corrosion à l'intérieur du béton qu'à l'extérieur du matériau support.

En augmentant l'épaisseur de la couche protectrice jusqu'à 45-70 μ , comme on le fait habituellement sur des éléments de fixation galvanisés, on peut augmenter nettement la résistance à la corrosion des chevilles. Mais, dans la pratique, le fonctionnement de nombreux types de chevilles impose des limites aussi bien au choix de la matière de revêtement qu'à l'épaisseur de la couche protectrice.

Utilisation de matériaux résistant à la corrosion

Les aciers inox chrome-nickel austénitiques des groupes A2 et A4 [10] ont déjà fait leurs preuves dans la zone du trou, même soumis à une atmosphère extérieure très agressive, là où, avec les matériaux indiqués, peuvent se produire des phénomènes de corrosion localisée dans les cas les plus défavorables.

Préservation des chevilles de l'attaque des fluides corrosifs

En pratique, cette action anticorrosive est «automatiquement» réalisée dans le cas de chevilles chimiques. Le mortier en matière synthétique («colle») utilisé pour la plupart des produits empêche la corrosion des organes métalliques de chevilles dans le trou.

Dans le cas de systèmes de chevilles avec interstice entre le corps de la cheville et la paroi du trou, il est possible d'empêcher la pénétration de fluides corrosifs dans cette zone en rendant étanche le trou vers



Fig. 3. — Attaques par corrosion typiques d'éléments en acier galvanisé exposés librement aux intempéries, dans la zone du trou (après enlèvement de la couche de zinc).

l'extérieur. Mais d'autre part, il se peut que cela gêne la déshumidification de l'interstice. C'est pourquoi il est avantageux, après avoir posé la cheville, de remplir complètement le trou d'une mousse à pores fermés, par exemple à base de polyuréthane ou de mastic anticorrosif à élasticité permanente, notamment à base d'huile de vaseline ou de bitume. Il faut par ailleurs vérifier l'étendue des modifications de telles mesures sur le fonctionnement des chevilles, en particulier sur leur comportement à l'auto-expansion.

4. Remarques finales

La corrosion d'éléments de fixation est souvent un processus très complexe. Outre les influences corrosives extérieures, un certain nombre de facteurs jouent un rôle important : le niveau et le type de charge, l'élément de fixation, les données spécifiques et les conditions de construction qui règnent dans chaque cas. Il est donc souvent difficile d'appré-

cier les risques de corrosion et cela n'est souvent possible qu'avec l'expérience. C'est pourquoi il est conseillé d'observer strictement les recommandations des fabricants et les directives générales en matière de construction, qui tiennent compte de cette expérience. En cas de doute, il est conseillé de faire appel à un spécialiste de la corrosion. Mais en technique de fixation, comme dans la technique en général, il n'est pas possible d'atteindre une sécurité d'application à 100%. C'est pourquoi, dans le cas d'éléments de structure critiques, on exige que des contrôles soient effectués périodiquement [1]. Mais pour les éléments de fixation, il n'est souvent guère possible de réaliser de tels contrôles, à la fois pour des raisons pratiques et des raisons de coûts. Dans de tels cas, il faut essayer d'éviter l'apparition de dégâts importants dus à la défaillance de fixations unitaires, en prenant des mesures appropriées sur le plan de la construction (en évitant l'effet de «réaction en chaîne»!).

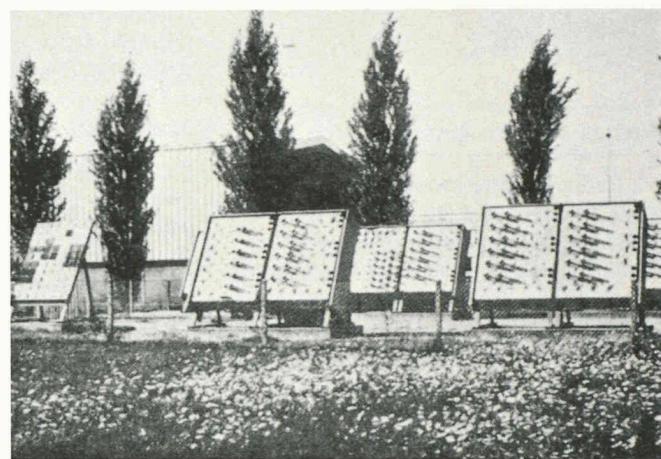


Fig. 4. — Panneaux d'exposition d'éléments de fixation aux intempéries.

Adresse des auteurs :

Daniel Bindschedler
Hans-Dieter Seghezzi
Hilti AG
9494 Schaan/FL

Bibliographie

- [1] THEILER, F.: *Documentation SIA 98*, Zurich, 1985, p. 39.
- [2] BURGMANN, G.; GRIMME, D.: *Stahl und Eisen 100*, 1980, p. 641.
- [3] OELSNER, G.: *Galvanotechnik*, 73, 1982, p. 216.
- [4] KÄSCHE, H.: *La corrosion des métaux*, Springer, Berlin, 1979.
- [5] DIN 50900, alinéa 1, avril 1982.
- [6] PLAWER, W. L.: *DBZ*, 1981 (II), 1.1.
- [7] REHM, G.; LEHMANN, R.; NÜRNBERGER, U.: *Rapport établi pour le contrat de recherche IfBt*, IV/1-5-154/77, Stuttgart, 1980.
- [8] MENZEL, K.: *Rapport N° 5/3 - 83/16*, IWB, Département technique de fixation, Université de Stuttgart, 1983.
- [9] MENZEL, K.: *Rapport N° 5/8 - 85/22*, IWB, Département technique de fixation, Université de Stuttgart, 1985.
- [10] DIN 267, alinéa 11, janvier 1980.
- [11] STICHEL, W.: *Rapport de recherche 126*, BAM, Berlin, 1986.

Bibliographie

Langages algébriques

par Jean-Michel Autebert. — Un vol. 16 × 24 cm broché, 280 pages. Editions Masson, Paris 1987. Prix: FF 120.00.

Le présent ouvrage de théorie des langages est centré sur l'étude des langages algébriques (appelés context-free language dans les pays anglo-saxons). On y montre comment générer ces langages à l'aide de grammaires, comment les reconnaître à l'aide d'automates à pile, et on établit de nombreuses propriétés des langages de cette famille :

théorème d'Ogden, de Chomsky-Schützenberger, de Shamir-Greibach...

Des sous-familles jouissant de propriétés fortes font l'objet d'études spéciales. En tout premier lieu, on développe les éléments les plus saillants de la théorie des langages rationnels, à savoir le théorème de Kleene et la construction de l'automate minimal. La famille des langages algébriques déterministes donne également lieu à une étude qui débouche sur une introduction à l'analyse syntaxique.

Enfin, la famille des langages récursivement énumérables et les machines de Turing sont intro-

duites succinctement pour parler des problèmes de décidabilité concernant les langages algébriques.

Le livre ne demande aucune connaissance particulière préalable. Il présente des énoncés de forme mathématique ou algorithmique précis. Chaque chapitre est suivi d'exercices, qui constituent souvent des compléments, et une série de problèmes termine l'ouvrage.

Cet ouvrage s'adresse principalement aux étudiants de licence et de maîtrise d'informatique. Il s'adresse également aux élèves des grandes écoles et aux étudiants de mathématiques désireux de faire un cursus d'informatique, à ceux de linguistique intéressés par les concepts théoriques de grammaire et de langage. Enfin il sera utile aux cher-

cheurs et étudiants de 3^e cycle en informatique fondamentale.

Sommaire: I. Les langages formels: 1. Le monoïde libre. — 2. Systèmes de réécriture. — II. Les langages algébriques: 3. Grammaires algébriques. — 4. Formes normales. — III. Les langages rationnels: 5. Langages reconnaissables. — 6. Langages rationnels. — 7. Automate minimal. — IV. Fermetures: 8. Théorème de substitution. — 9. Propriétés constructives de fermeture. — V. Dérivations dans les grammaires algébriques: 10. Notions élémentaires sur les arbres. — 11. Arbres de dérivation et ambiguïté. — VI. Reconnaissance des langages algébriques: 12. Automates à pile. — 13. Langages déterministes. — VII. Problèmes de décision: 14. Langages récursivement énumérables.