

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 67 (1941)
Heft: 19

Sonstiges

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>

Or, la première de ces valeurs est notoirement inadmissible pour un béton ordinaire.

Il faut donc nécessairement admettre que, là où les tensions positives tendent à dépasser une certaine limite, le béton passe du régime des déformations élastiques au régime des déformations plastiques.

L'accord entre la nouvelle expression de la courbure

$$\mu = \frac{\mathcal{M}}{EJ} + \bar{\mu}$$

et l'expérience pourra s'obtenir — sans faire varier la valeur attribuée au module — en prenant comme diagramme des déformations plastiques (en fonction des y) un diagramme triangulaire du type de celui pointillé dans la figure 10.

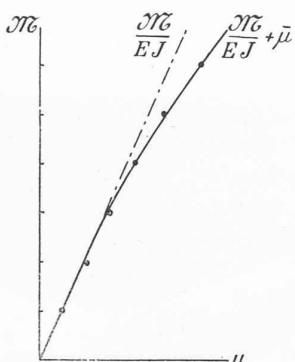


Fig. 11.

Pour une telle distribution de déformations plastiques, on a en effet

$$\bar{\mu} = 0.188 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

Si l'on tient compte que

$$\frac{\mathcal{M}}{EJ} = 0.92 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

on retrouve la valeur de la courbure relevée expérimentalement

$$\bar{\mu} = 0.980 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

Le diagramme des tensions intérieures (hachuré dans la figure) présente, dans toute la région intéressée par les déformations plastiques, une ordonnée constante égale à $\pm 14 \text{ kg/cm}^2$.

La valeur de la tension maximum négative, correspondant au bord opposé de la section, s'est naturellement accrue en conséquence ; elle est passée de -36 à -40 kg/cm^2 .

Dès lors, on peut traiter de la même manière les cas intermédiaires, en admettant que, pour eux aussi, le régime plastique se substitue à celui de la parfaite élasticité partout où les tensions positives dans le béton atteignent la limite de 14 kg/cm^2 .

On obtient ainsi :

pour les moments de flexion de	les valeurs des courbures (en cm^{-1})		
	élastique	plastique	totale
30 000 kg/cm	0.132×10^{-5}	0	0.132×10^{-5}
60 000 "	0,264	0	0,264
90 000 "	0,396	0.020×10^{-5}	0,416
120 000 "	0,528	0,052	0,580
150 000 "	0,660	0,112	0,772
180 000 "	0,792	0,188	0,980

L'accord de ces résultats avec les valeurs de la courbure relevée expérimentalement est vraiment remarquable ; l'écart ne dépasse en aucun cas le 3 %.

Cet accord apparaît clairement dans le diagramme (fig. 11) où les résultats expérimentaux de Bach et Graf ont été portés à l'échelle en présence de la courbe représentative de la loi de variation de la courbure en fonction du moment de flexion, selon la théorie de l'équilibre élasto-plastique.

(A suivre.)

DIVERS

Le tartre, sa destruction et les moyens de prévenir sa formation dans les chaudières industrielles et les installations de chauffage central.

Formation du tartre.

On trouve généralement en solution dans l'eau, dans des proportions diverses, les produits chimiques tels que : bicarbonates, sulfates, chlorures et nitrates de calcium, de magnésium et de sodium, parfois des sels de fer et d'aluminium. Le résidu sec est généralement de 200-400 mgr/litre.

Lorsque l'eau s'évapore, les solutions se concentrent et les différents sels précipitent ; tout d'abord les sulfates et carbonates de calcium et de magnésium, puis, à beaucoup plus forte concentration, les sels de sodium, des chlorures et des nitrates. Seuls les premiers nous intéressent, car ce sont eux qui forment le *tartre*.

Pour savoir combien une eau contient de carbonates et de sulfates on détermine sa dureté¹ : la dureté totale renseigne sur la quantité totale de tartre qu'une eau peut former, les duretés temporaire et permanente donnent respectivement des indications sur les proportions de calcaire et de gypse.

Un mètre cube d'eau de dureté moyenne (20° F) dépose 200 grammes de tartre. Pour les chaudières des bateaux du Léman, par exemple, qui évaporent jusqu'à 40 tonnes d'eau du lac (13° F) par jour, cela représente 5 à 6 kg de tartre.

Les deux constituants principaux du tartre sont donc : le calcaire et le gypse.

Le calcaire se forme par l'action de la chaleur sur le bicarbonate de calcium suivant la réaction :



Lorsque son degré de saturation est atteint, le carbonate de calcium précipite sous forme de fines particules qui — sous l'action de la chaleur — se souduent pour former le *tuf*. Suivant les conditions de température ou de pression, le dépôt formé est plus ou moins dur et il est souvent très difficile à enlever mécaniquement.

Le gypse a la curieuse propriété d'être moins soluble à chaud qu'à froid. Si donc l'on concentre une solution de sulfate de calcium, il y aura précipitation sur les parties les plus chaudes, en particulier sur les tubes des chaudières. Ce « tartre gypse » est dangereux. Très dur et adhérent, il forme sur les éléments chauffants une couche peu conductrice de la chaleur et provoque ainsi des pertes considérables au point de vue thermique.

L'analyse de l'eau révélera donc la composition exacte du tartre. Les eaux de notre pays étant essentiellement calcaires, le carbonate de calcium est généralement le principal constituant du tartre. Il est accompagné, en quantités variables, de sulfate de calcium, de silice et de sels de magnésium.

¹ Un degré français de dureté (1° F) correspond à un gramme de calcaire ($CaCO_3$) par 100 litres d'eau.

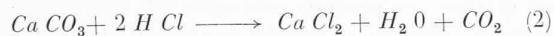
Destruction du tartre.

Pendant longtemps seuls les moyens mécaniques ont été utilisés pour enlever le tartre. Le « grattage » et « piquage » des tôles des chaudières est un travail long, pénible, ennuyeux et presque toujours impossible à effectuer complètement. Depuis une dizaine d'années tous ces travaux de détartrage se sont trouvés considérablement simplifiés grâce au procédé chimique, rendu possible depuis la découverte des limiteurs d'attaque appelés aussi *inhibiteurs*.

Ces substances, introduites en faible quantité dans des solutions, même concentrées d'acides forts, enrangent la réaction parasite de dissolution du métal, tout en laissant complètement l'action dissolvante de l'acide.

Des solutions d'acides forts, efficacement « limitées » sont actuellement utilisées pour les détartrages et se révèlent singulièrement efficaces. Aussi ce procédé chimique de détartrage tend-il à se généraliser de plus en plus.

Voici le processus du détartrage chimique ; la réaction principale est la suivante :



Le calcaire passe en solution sous forme de chlorure de calcium très soluble ; les petites particules de gypse, jusqu'alors agglomérées par le calcaire, sont libérées et disparaissent lors du lavage au jet. La réaction est contrôlée par le dégagement d'acide carbonique.

Lorsque l'acide arrive en contact avec le métal, les limiteurs d'attaque agissent aussitôt.

Laissons de côté les inhibiteurs minéraux très particuliers, pour dire quelques mots des inhibiteurs organiques. Ceux-ci sont nombreux et variés dans leur composition. Citons les aldéhydes, les composés azotés, des produits tirés du goudron de houille ou des colloïdes¹.

Il est difficile, vu la diversité de ces composés d'admettre une théorie générale de l'action des inhibiteurs. Rappelons cependant l'explication qu'en donne M. W. Machu et qui nous paraît digne d'intérêt : « Une absorption primaire d'inhibiteur se produit à la surface du métal. Le film ainsi créé, composé de molécules ou particules formant une véritable brosse, ne laisse libre que des espaces capillaires si ténus, que les ions intervenant dans la dissolution du métal, ne peuvent plus atteindre la surface vierge de celui-ci et l'attaque s'arrête ».

Donc, d'après W. Machu, les inhibiteurs n'ont qu'un rôle physique, celui d'intensifier la résistance au cheminement des ions. Les grosses molécules, les chaînes longues compliquant les espaces capillaires doivent donc bien, pour cette raison, être plus actives.

Et voici quelques chiffres qui prouveront l'efficacité des limiteurs d'attaque pour la protection des métaux. L'action des inhibiteurs étant d'autant plus grande que l'attaque sera plus faible, il est possible de la mesurer par la perte en poids, en mgr/cm^2 de surface métallique, de petites éprouvettes immergées dans différentes solutions acides.

Solutions	Fer	Cuivre	Alumin-ium	Etain	Zinc
1. Sol. 100 gr/l <i>H Cl</i> non limité 24 h à 20° C	96	—	—	—	—
2. Sol. 100 gr/l <i>H Cl</i> limité 24 h à 20° C	1,45	0,141	—	0,14	—
3. Sol. 100 gr/l <i>H Cl</i> non limité 24 h à 50° C	Destruction	—	—	—	—
4. Sol. 100 gr/l <i>H Cl</i> limité 24 h à 50° C	22,0	—	—	—	—
5. Sol. 50 gr/l <i>H Cl</i> limité 24 h à 20° C	0,85	0,141	—	0,11	—
6. Sol. 200 gr/l <i>H Cl</i> limité 24 h à 20° C	4,60	0,153	—	0,83	—
7. Sol. X corr. 100 gr/l <i>H Cl</i> limité 24 h à 20° C	0,25	0,053	0,078	0,078	3,6

L'attaque à froid sur une tôle en fer de 2 mm d'épaisseur

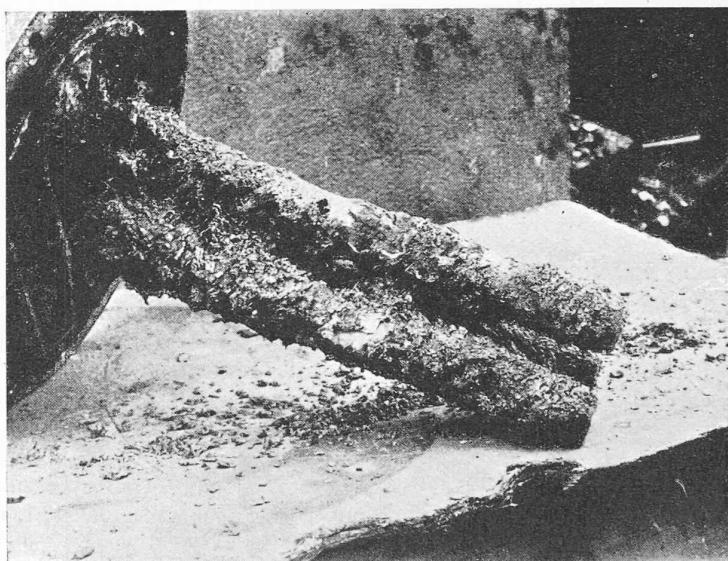


Fig. 1. — Corps de chauffe d'un bouilleur électrique avant détartrage chimique.

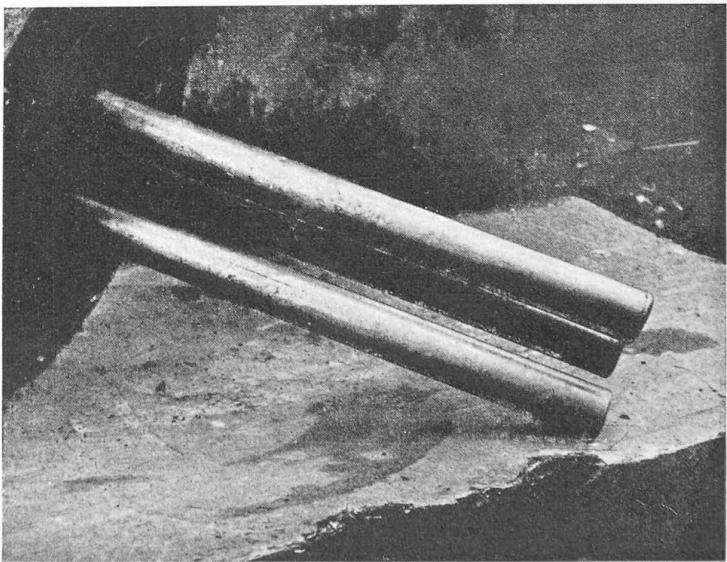


Fig. 2. — Corps de chauffe d'un bouilleur électrique après détartrage chimique.

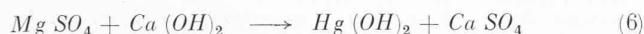
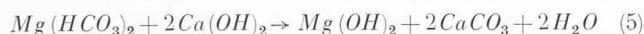
¹ La présence des groupes = C = O, N et = S = dans la molécule indique une action inhibitrice. Celle-ci est d'autant plus grande que le poids moléculaire est plus élevé ; l'allongement d'une chaîne a un effet très net ainsi que la multiplication des noyaux.

n'est que de 1⁰/₀₀ environ, ce qui est négligeable. Les solutions diluées d'acides efficacement limitées peuvent donc être utilisées sans aucun danger pour les détartrages.

Procédés pour prévenir la formation du tartre.

Le meilleur moyen de lutter contre les effets du tartre est d'empêcher sa formation. On y arrive facilement par trois anciens procédés bien connus, qui permettent de résoudre tous les problèmes : le traitement préalable, le conditionnement et le procédé dit « Echange de bases ».

A. *Le traitement préalable.* Ce procédé consiste à adoucir l'eau avant son emploi. Les produits chimiques généralement employés pour cela sont la chaux et la soude, qui réagissent comme suit :



Le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium précipitent, et l'eau n'a plus que 3 à 4° F de dureté. C'est une eau douce sans grand danger au point de vue tartre.

Ce traitement préalable est généralement employé pour les grandes installations. Les frais de construction des appareils (baies à réaction, filtration) sont assez élevés, mais les frais d'exploitation sont minimes.

B. *Le conditionnement.* Le traitement interne ou conditionnement consiste à empêcher la formation du tartre dans l'installation même au moyen de produits dits « désincrustants ». Ceux-ci réagissent avec les bicarbonates et sulfates de calcium et de magnésium pour former une boue à grosses particules, qui s'accumulent au fond des chaudières. Contrairement au tartre, cette boue n'adhère pas au métal et s'élimine facilement par purge et au jet.

La composition des désincrustants se base sur une analyse préalable de l'eau et varie suivant les cas. Un nombre bien déterminé de mètres cubes d'eau brute est traité, et ce procédé, pour être efficace, doit être suivi et régulièrement contrôlé.

Le traitement interne est généralement employé pour les moyennes et petites installations et pour les chaudières à haute pression en particulier. Il ne nécessite aucune dépense de constructions d'appareils et les frais d'exploitation sont minimes.

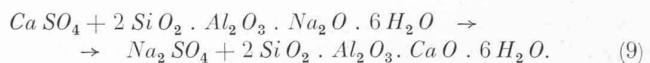
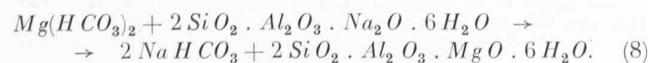
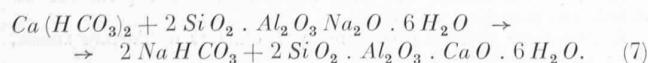
C. *Le procédé dit « Echange de bases ».* Certains silicates doubles naturels et artificiels ont la propriété d'échanger leurs atomes de sodium contre ceux de calcium et de magnésium. Ce sont les « Zéolithes » qui répondent à la formule suivante :



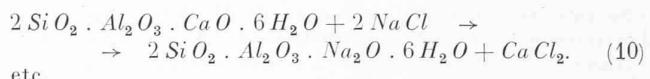
Cette propriété est largement utilisée pour l'adoucissement de l'eau ; la réaction est quantitative et les ions alcalino-terreux sont entièrement fixés. L'eau ainsi obtenue est tout à fait douce (0° de dureté).

Le Zéolithé épuisé, on le régénère entièrement en le traitant tout simplement par une solution concentrée de chlorure de sodium (sel dénaturé).

Les réactions sont les suivantes :



et pour la régénération :

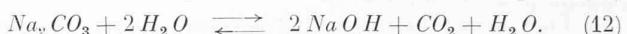


Le chlorure de calcium est éliminé par lavage et le Zéolithé fonctionne à nouveau comme au début.

Ce système d'adoucissement est recommandé tout spécialement pour les installations à eau chaude et vapeur basse pression.

Il ne peut être employé pour l'adoucissement de l'eau des chaudières à haute pression, un nouveau facteur intervenant : l'hydrolyse du carbonate de sodium.

A haute température et sous pression se produisent en effet les réactions suivantes :



L'acide carbonique s'en allant avec la vapeur, l'équilibre est nettement déplacé vers la droite, d'où formation de soude caustique, produit dangereux, provoquant l'attaque des joints, le prisme et l'endurcissement caustique.

Conclusion. Trop longtemps on a considéré le tartre comme un mal inévitable et d'innombrables procédés ont été employés pour chercher à le combattre. Actuellement le tartre peut être non seulement vaincu, mais évité pour le plus grand bien de nos installations et de notre économie.

ALFRED RODIEUX,
ingénieur-chimiste, Lutry.

NÉCROLOGIE

A. Michaud, ingénieur.

Le corps des ingénieurs vaudois a perdu en Alfred Michaud-de Jongh un collègue aimé de chacun de ceux, dont nous sommes, qui ont eu avec lui des rapports personnels ; il laisse le souvenir du sourire amical avec lequel il accueillait le confrère venu à lui ; le travail en commun ne démentait pas cette impression initiale.



ALFRED MICHAUD, ingénieur.
1877-1941