Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 128 (2002)
Heft: 10

Artikel: Le contrôle en continu du taux de chlore dans l'eau potable
Autor: Kaestli, Françoise
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-80281

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: 10.07.2025

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

Françoise Kaestli

Le **contrôle** en continu du taux de chlore dans l'eau potable

Le traitement et l'analyse de l'eau exigent plus que des compétences en chimie ou en biologie. La nécessité d'obtenir des informations en temps réel, de disposer d'une base d'informations en continu et d'intervenir à distance ont largement modifié l'approche de cette denrée précieuse. Dans ce contexte, le *Centre suisse d'électronique et de microtechnique* (CSEM SA) explore de nombreuses pistes de recherche. Intégrateur de domaines aussi variés que la microélectronique, les nanotechnologies, la microfluidique ou les biotechnologies dont il transforme les acquis en solutions industrielles, il se profile notamment dans le suivi de la qualité de l'eau avec de nombreux dispositifs électrochimiques novateurs. Outre le microsystème décrit ci-dessous, qui est destiné à la surveillance du taux de chlore dans les réseaux de distribution d'eau potable, d'autres applications se dessinent pour les eaux industrielles, les piscines, etc.

La qualité de l'eau dans le réseau de distribution

Nos exigences accrues vis-à-vis de la qualité de l'eau potable requièrent des outils performants de contrôle du taux de chlore, ce désinfectant universellement répandu qui limite la prolifération biologique. Aux services industriels et aux distributeurs d'ajuster très précisément les quantités d'un produit dont l'action se prolonge par un goût âcre qui chatouille désagréablement nos papilles gustatives. D'où la forte demande de systèmes de surveillance efficaces, suffisamment économiques pour être répartis sur les points cruciaux du réseau, libres de maintenance et fiables dans un environnement aqueux.

Pour le développement d'un tel dispositif, le choix du CSEM s'est naturellement porté sur des systèmes électrochimiques sélectifs bien adaptés aux mesures en continu. Les systèmes existants présentent en effet l'inconvénient d'être sensibles aux variations de pression et de pH, peu résistants à la contamination et relativement onéreux. Le choix d'une mesure électrochimique en direct (sans membranes) à l'aide de microélectrodes a permis de contourner une partie de ces obstacles.

Dans la mesure où les réseaux de distribution suisses contrôlent déjà couramment le flux et la pression de l'eau, grâce à des senseurs électroniques disposés à l'intérieur de vannes automatiques dotées d'un système de régulation de la pression, il devenait relativement aisé de leur adjoindre un capteur de chlore destiné à la sécurité du réseau et qui, télécommandé, permettrait la fermeture ou la purge d'une section du réseau.

Principes de fonctionnement du capteur

La partie sensible du capteur est une puce de silicium de 2,8 x 7 mm, sur laquelle sont intégrés 135 microdisques en or d'environ 15 micromètres de diamètre. Avec des procédés de fabrication basés sur les mêmes technologies que la production des circuits électroniques (microphotolithographie), le coût de production est relativement bas. L'or a été retenu car il se prête particulièrement bien à la détection du chlore libre, une telle matrice de microélectrodes augmentant la sensibilité du système d'un facteur cent. Les électrodes sont maintenues à un potentiel électrique apte à provoquer la réduction chimique du chlore de façon sélective, soit autour de -0,1 volt (par rapport à un potentiel de référence). Se tra-

1

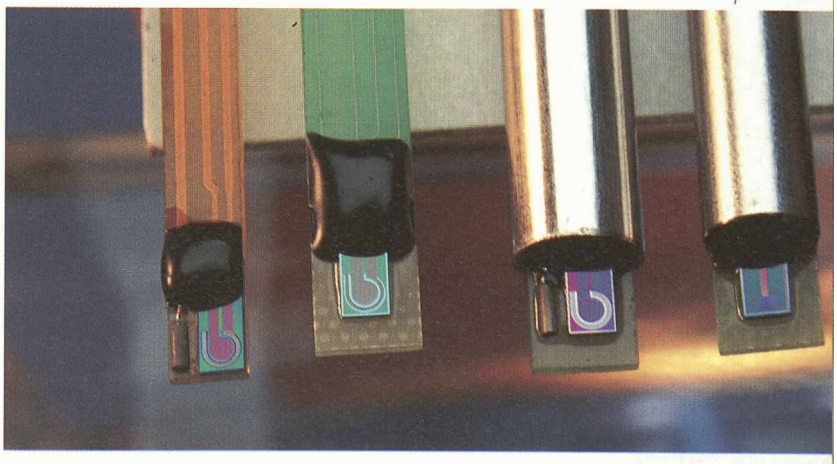


Fig. 1: La puce et les microélectrodes chargées de maintenir un potentiel électrique adéquat sont montées dans un cylindre servant de contre-électrode.

Fig. 2: La partie sensible du capteur est un rectangle sur lequel sont intégrés 135 microdisques en or.

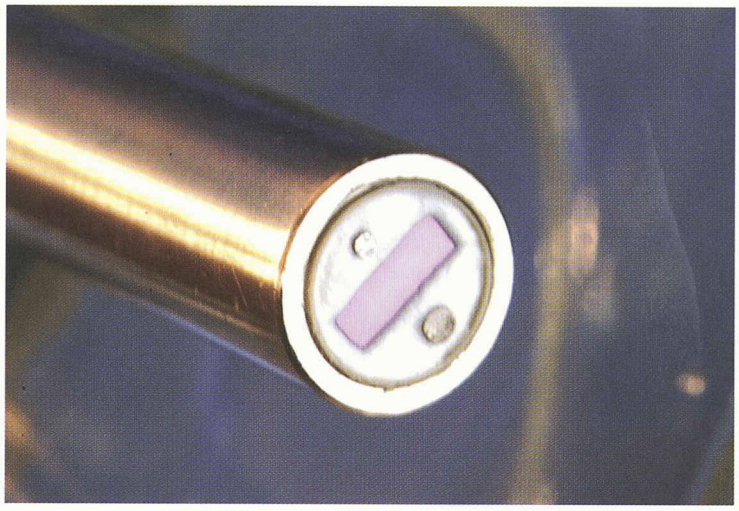
Fig. 3: Le potentiostat

Fig. 4: Le système complet, tel qu'il a été installé pour une phase pilote.

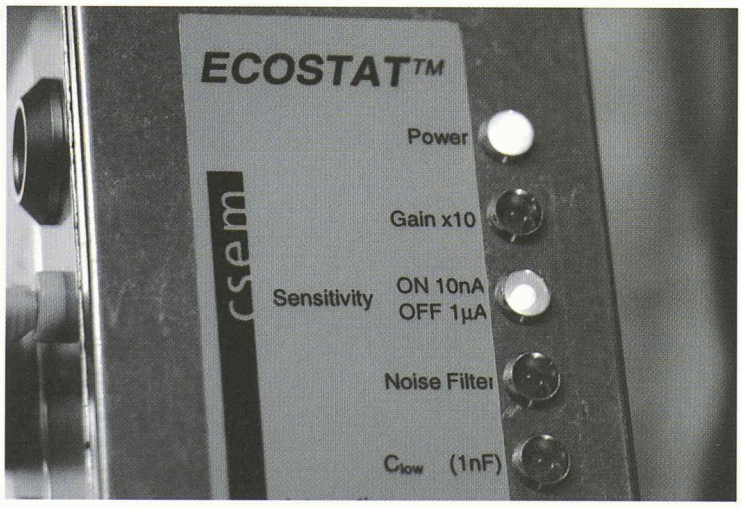
Fig. 5: Le système de désinfection DiaCell. *A l'intérieur, une électrode en diamant oxyde les composants de l'eau mise à son contact, générant ainsi de puissants désinfectants qui redonnent de l'eau après réaction.*

(Toutes les photos illustrant cet article ont été fournies par le CSEM)

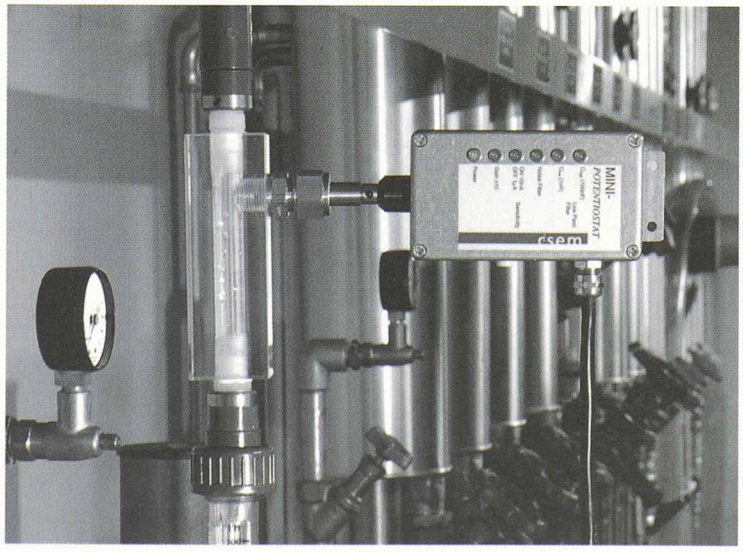
2



3



4



duisant par la libération d'un électron, cette réduction génère donc un courant électrique mesurable, phénomène qui n'est guère sensible aux variations du débit de l'eau, ni à celles de son pH (taux d'acidité) ou de sa salinité. Dans les réseaux de distribution d'Europe de l'Ouest, où la désinfection de l'eau fait généralement appel à des concentrations de chlore de l'ordre de 0,1 à 0,2 mg/l - injecté sous forme gazeuse (chlore) ou comme solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) - les réactions suivantes se produisent:

$Cl_2 + H_2O <-> HOCl + HCl$

$HOCl <-> OCl^- + H^+$

Pour des mesures en continu dans des conduites sous pression, les puces (matrices de microdisques en or) sont, après découpe, coulées dans une matrice de silicone et montées dans un capteur comprenant aussi une contre-électrode et une électrode de référence (fig. 1 et 2). Le dispositif fonctionne jusqu'à une pression de 15 bars. Le système complet peut être monté dans une valve à contrôle automatique *Cla-Val*. Si une teneur en chlore inappropriée est détectée, la valve est fermée afin de protéger le réseau; une seconde valve peut alors être actionnée pour décharger l'eau jusqu'à ce que la qualité de la distribution soit à nouveau assurée. Le capteur devant être flanqué d'un potentiostat adapté, un tel instrument miniaturisé a également été développé pour l'application en question (fig. 3). Equipé de plusieurs filtres qui lui permettent d'opérer dans un environnement électrique perturbé, sa bande passante de 1 kHz lui confère en outre une souplesse d'utilisation permettant d'autres types d'analyse. Le dispositif complet inclut encore une interface électronique reliée à un modem pour la gestion et la transmission des données.

Ainsi complété, le système affiche des performances comparables à celles d'un équipement moderne de laboratoire: sa réponse en fonction de la concentration est bonne et sa sensibilité élevée. Une faible dépendance au pH permet de se passer d'une mesure parallèle de ce paramètre, tandis que l'emploi de microélectrodes a réduit la dépendance au flux et à la salinité. Du calcaire, de l'oxyde de fer ou un biofilm peuvent toutefois se déposer sur les disques d'or et en perturber le fonctionnement: pour pallier ce phénomène, chaque cycle de mesure inclut un nettoyage électrochimique *in situ* des surfaces sensibles.

La stabilité du capteur dans le temps doit encore être améliorée. Les tests réalisés sur le terrain (réseau neuchâtelois et d'Ecublens/Lausanne) durant une période de six semaines ont prouvé la fiabilité du système, mais l'autonomie devrait être prolongée à trois mois (fig. 4).

De l'eau des piscines à celle rejetée par les cargos

A l'origine conçu pour la surveillance du taux de chlore dans l'eau potable, le microsystème peut se plier à d'autres applications: contrôle du chlore dans des installations d'eau chaude sanitaire, dosage dans les piscines ou les eaux de refroidissement industrielles, prévention de la formation d'algues et de biofilms. Adaptant son dispositif de micro-électrodes, le CSEM a également mis au point un détecteur d'ozone, utile à l'industrie pharmaceutique friande d'eaux purifiées. Des matériaux autres que l'or peuvent en effet être employés en guise d'électrodes: le platine, l'iridium et, moins courant, le diamant ou le carbone amorphe. Basé sur ce dernier matériau, un microsystème ouvre de nouvelles possibilités pour la détection de métaux lourds comme le cadmium et le plomb. Quant au diamant, il présente l'avantage d'un matériau très stable, mais très sensible en surface, apte à désinfecter des eaux de ballast dans les cargos notamment (voir encadré).

Industrialisation

Le développement du premier microsystème a été réalisé grâce au soutien de la Commission pour la technologie et l'innovation, avec la participation de l'entreprise *Christ SA* d'une part et *Cla-Val SA* d'autre part. Il a servi à définir les spécifications du capteur et à en réaliser un prototype ajustable dans des vannes autocontrôlées. Un partenaire industriel devrait se charger de l'industrialisation de ce dispositif, qui est appelé à couvrir diverses applications à côté du contrôle de l'eau potable.

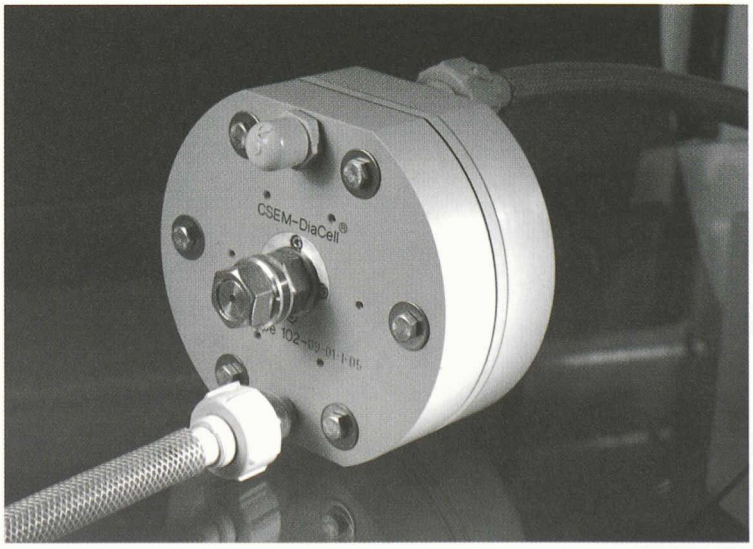
Secteur des systèmes environnementaux du CSEM

Rattaché à la division ingénierie de surface (responsable des biocapteurs et des nanotechnologies) et collaborant étroitement avec les unités de production, le secteur «Systèmes environnementaux» du CSEM conçoit et développe des systèmes complets pour le traitement de l'eau et de solutions aqueuses. A ces installations sont souvent associés des dispositifs de mesure, comme le montre l'exemple du chlore, mais aussi de détection de métaux lourds et de molécules diverses. Les laboratoires abritent une dizaine de collaborateurs, qui allient des compétences diverses en chimie, biochimie et biologie, électronique, sciences de l'environnement et ingénierie.

Dans le cadre de la recherche de solutions pour le traitement des eaux, un récent projet a prouvé la faisabilité d'un procédé de désinfection basé sur des macro-électrodes et destiné aux cargos voyageant en haute mer. Munis de 10 000 à 100 000 m^3 d'eau qui leur servent de ballast, ceux-ci pompent le liquide au lieu de chargement pour le rejeter bien souvent dans un autre port; or vu le nombre d'embarcations qui effectuent la même manœuvre, on imagine que cela puisse bientôt perturber les écosystèmes marins. En collaboration avec une société suisse, le CSEM a conçu un système inactivant les microbes présents dans l'eau, la «DiaCell» **(fig. 5)**. Une électrode en diamant dopé au bore, d'un micron d'épaisseur et travaillant à des surtensions d'oxygène de 2,5 à 3 volts, génère un mélange très oxydant aux propriétés désinfectantes puissantes: peroxyde d'oxygène, persulfate, percarbonate, ozone. Le système se passe de tout adjuvant, puisqu'en traversant le dispositif sous tension, le liquide à désinfecter génère lui-même les composés aptes à tuer les bactéries présentes. Trois à quatre cellules capables de traiter environ 12 m^3 à l'heure suffisent pour un bateau. Eliminant en outre le risque des résistances au chlore ou à d'autres substances chimiques, ce traitement multiproduit devrait donc aussi trouver sa place dans les hôpitaux, les EMS ou les piscines privées, même si l'on peut encore lui reprocher sa consommation énergétique, pourtant modeste.

Enfin, le développement d'un procédé de traitement des eaux usées riches en matières organiques est également en cours. Souvent non biodégradables, les matières en question (DCO[1]) nécessitent une oxydation pour le devenir, et le principe décrit ci-dessus y pourvoit.

[1] DCO: Demande chimique en oxygène



5