

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 32 (1941)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Electrolyseurs d'eau de grande puissance  
**Autor:** Storsand, B.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057660>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

Die Kenntnis des Strahlungswiderstandes ist für die richtige Anpassung der Energieleitung an die Antenne von Bedeutung. Welchen Strahlungswiderstand man einstellt, hängt natürlich von der Art der gewünschten Charakteristik ab, deren Form, wie gezeigt wurde, schon bei einer einfachen Antenne, wenigstens bei guter Bodenleitfähigkeit, sicher aber durch Kombination mehrerer Antennen, in weiten Grenzen geändert werden kann.

### Zusammenfassung.

Zur Erzeugung elliptischer oder zirkular polarisierter elektrischer Wellen kann man sich sogenannter Drehfeldantennen bedienen, die zuerst von Tank angegeben<sup>1)</sup> und später in anderer Form von N. E. Lindenblad und G. H. Brown<sup>1)</sup> für Fernsichtzwecke angewendet wurden. Statt gewöhnlicher Dipole werden zu diesem Zweck Tripole oder Quadrupole verwendet, deren Ströme entsprechende Phasenverschiebungen von 120° bzw. 90° aufweisen. Bei allen Drehfeldantennen, ob sie im freien Raum schwingen oder ob sie mit ihrer Ebene parallel zu einer leitenden Erde angebracht sind, immer ist die Polarisierung in Richtung senkrecht zur Tripol- oder Quadrupolebene zirkular, in der Ebene des Strahlers hingegen linear. Letztere Eigenschaft ist von besonderer technischer Wichtigkeit. In allen übrigen Richtungen werden elliptisch polarisierte Wellen ausgestrahlt.

Es können aber auch mehrere Drehfeldantennen kombiniert werden, etwa um gewisse Richtwirkungen zu erzielen. Als Beispiel wird der Fall zweier in einem Abstand  $2h$  parallel zueinander gleichphasig schwingender Antennen im freien Raum durchgerechnet.

Für die stets rotationssymmetrischen Strahlungsfelder sind einige typische Beispiele in Form von Strahlungscharakteristiken dargestellt, in welchen der Poyntingsche Vektor der Energiestromdichte in einem Polarkoordinatensystem als Funktion eines Winkels  $\chi$  eingetragen ist;  $\chi$  bedeutet dabei den Winkel des Radiusvektors mit der Antennensenkrechten, d. h. mit der Symmetrieaxe. Nur die im Raume freie Drehfeldantenne strahlt in den ganzen Raumwinkelbereich ziemlich gleichmässig Energie aus. Sowohl die einzelne in der Höhe  $h$  über dem leitenden Boden angebrachte Drehfeldantenne, als auch das frei im Raum befindliche gleichphasig schwingende Paar von Drehfeldantennen zeigen infolge von Interferenzwirkung Bündelung in bestimmten Vorzugsrichtungen, wobei die Maxima der einen mit den Minima der andern Anordnung zusammenfallen und umgekehrt.

Die Strahlungsleistung und damit auch der Strahlungswiderstand einer einfachen Drehfeldantenne mit Spiegelbild hängt bis auf einen konstanten Faktor in derselben Weise von der Höhe  $h$  über dem Boden ab, wie beim einfachen horizontalen Dipol. Mit wachsender Höhe nimmt die Strahlungsleistung zuerst langsam, dann stark zu, durchläuft ein Maximum und pendelt zuletzt mit stetig abnehmender Amplitude um einen bestimmten Grenzwert  $S_\infty$  hin und her. Die Kurve der Strahlungsleistung des gleichphasig schwingenden Antennenpaares entsteht aus der erstgenannten durch Spiegelung um die Gerade  $S = S_\infty$ .

Die vorliegende Arbeit ist auf Anregung von Herrn Prof. Tank entstanden. Ich möchte ihm an dieser Stelle auch für die Durchsicht der Arbeit, sowie für seine wertvollen Ratschläge bei der endgültigen Abfassung derselben meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

## Electrolyseurs d'eau de grande puissance.

Communication faite le 21 juin 1941 en séance de l'ASE, à Zurich,  
par B. Storsand, Zurich-Oerlikon.

661.931

*L'auteur fait ressortir au moyen d'exemples la grande importance de l'hydrogène pour la chimie synthétique. Il décrit le développement des électrolyseurs d'eau de grand débit et les particularités de leur construction. Les questions économiques sont effleurées.*

*Die grosse Bedeutung des Wasserstoffes in der synthetischen Chemie wird anhand von Beispielen dargelegt. Auf die Entwicklung der Grosswasserzersetzer und ihrer konstruktiven Merkmale wird eingegangen. Wirtschaftliche Fragen werden gestreift.*

(Traduction.)

L'utilisation de toutes les possibilités que présente l'électrochimie pour la production des matières premières s'impose aujourd'hui plus que jamais à tous les pays disposant de peu de matières premières, mais d'énergie hydraulique en abondance.

Parmi les différents procédés de ce genre permettant l'utilisation de l'énergie électrique, l'électrolyse de l'eau prend une place importante. Dans la suite de cet exposé on décrit en premier lieu les possibilités d'application de l'électrolyse de l'eau, et ensuite, à la base d'exemple d'exécutions, le développement de la construction d'électrolyseurs depuis le début jusqu'à l'électrolyseur actuel de grande puissance.

### I. Champ d'application.

L'industrie de l'azote, qui a pour but la fabrication de l'ammoniaque synthétique, par combinaison à haute pression, haute température et en présence de catalyseurs, de l'azote de l'air avec de l'hydrogène, consomme de grandes quantités d'hydrogène. L'ammoniaque est ensuite brûlé avec de l'oxygène. L'oxyde d'azote qui en résulte, combiné avec de l'eau, donne de l'acide nitrique, produit de départ pour la fabrication des engrais azotés et des explosifs. En Suisse, la Lonza S. A. fabrique actuellement 25...30 millions de m<sup>3</sup> d'hydrogène annuellement, ce qui correspond à une consommation d'énergie électrique d'environ 125...150 millions de kWh. La quantité de produits

azotés que fabrique annuellement cette Société représente plus du double d'azote que nécessite l'économie du pays. La fig. 1 montre deux électro-

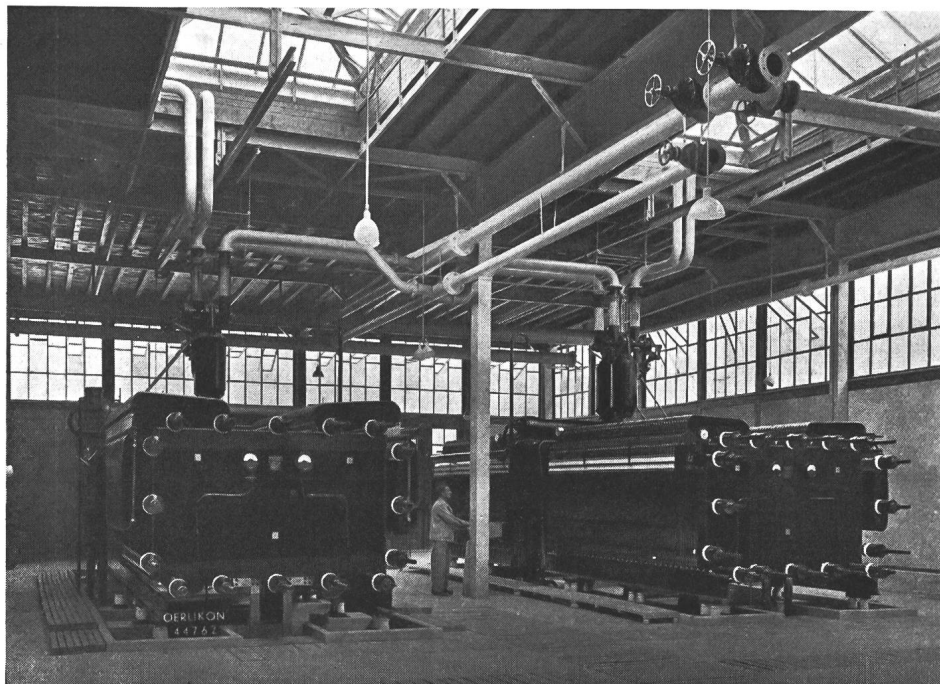


Fig. 1.

Electrolyseurs Oerlikon de grande puissance dans une usine suisse de produits azotés.

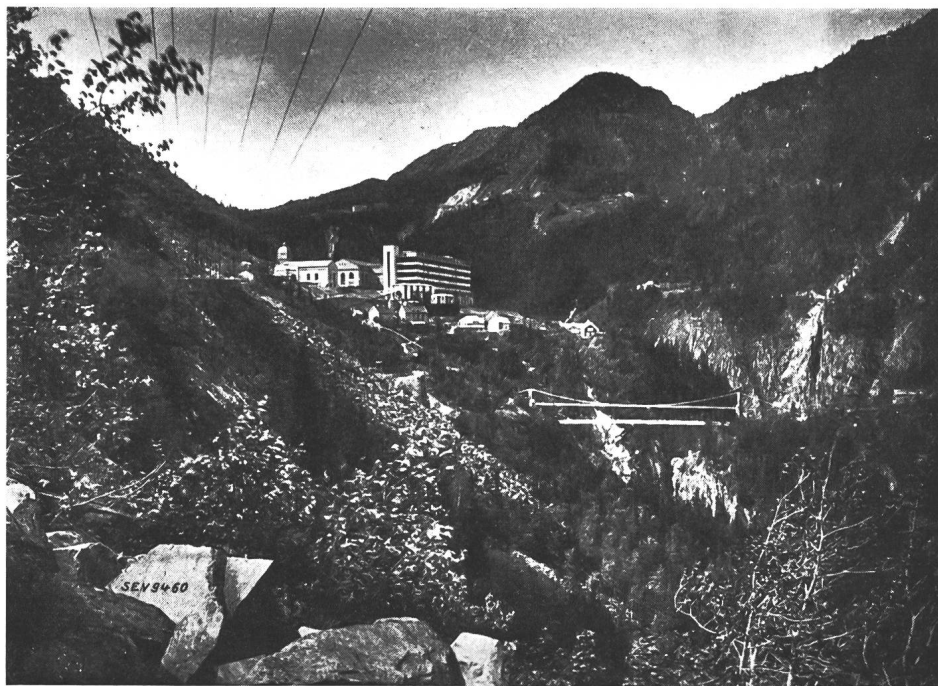
lyseurs Oerlikon installés dans une usine de la Lonza S. A. et produisant chacun  $300 \text{ m}^3$  d'hydrogène par heure.

Des installations analogues existent en Norvège. La fig. 2 montre l'usine d'électrolyseurs de Vemork de la Société Norvégienne de l'azote, dans laquelle est installée une puissance de  $100\,000 \text{ kWh}^1$ . Il est intéressant de mentionner que ces électrolyseurs sont du système Pechkranz de l'ancienne maison Hydroxygène S. A. à Genève et que les Ateliers de Construction Oerlikon ont livré pour cette usine des génératrices à courant continu (fig. 3) de  $2 \times 12\,000 \text{ A}$ ,  $500 \text{ V}$  par groupe.

Une autre industrie consommant beaucoup d'hydrogène électrolytique est l'industrie de durcissement des graisses. Alors que la

Fig. 2.

Usine d'électrolyse de Vemork de la Société Norvégienne de l'Azote.



fabrication de l'ammoniaque est un exemple de synthèse en partant des deux éléments constitutifs azote et hydrogène, le durcissement des graisses est une

<sup>1)</sup> Bulletin ASE 1931, No. 16, p. 413.

hydrogénation. Dans ce procédé on ajoute, par réaction catalytique, à une combinaison chimique existante, une ou plusieurs molécules d'hydrogène, de façon à former une nouvelle combinaison ayant d'autres propriétés. Cette industrie a pour but de transformer par combinaison avec l'hydrogène, des huiles organiques, comme l'huile de foie de morue, l'huile de lin, l'huile d'arachides, etc., en graisses alimentaires de haute valeur.

L'industrie de durcissement des graisses, qui exige que l'hydrogène employé soit extrêmement pur, fut la première à utiliser sur une grande

échelle de l'hydrogène électrolytique. La première grande installation d'électrolyseurs du système Knowles<sup>2)</sup> fut installée dans ce but pour la firme Lever Brothers en Angleterre.

L'industrie chimique comprend d'autres procédés employant de l'hydrogène, tels par exemple l'hydro-

génation des goudrons et huiles lourdes pour l'obtention de fractions plus légères, l'hydrogénation de la naphthaline pour la fabrication de dissolvants.

<sup>2)</sup> Bulletin ASE 1935, No. 2, p. 45.

La fabrication de la benzine synthétique en partant de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène présenterait également pour la Suisse une application importante de l'hydrogène électrolytique. Il y a lieu de rappeler à ce sujet l'étude du Prof. Guyer dans le Bulletin de l'ASE 1938 et qui sou-

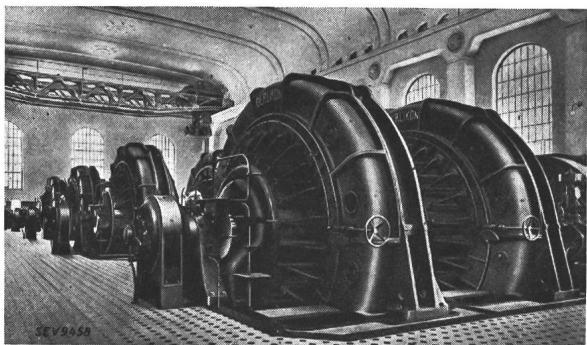


Fig. 3.

Usine de Vemork avec 4 génératrices doubles Oerlikon, chacune de 12 000 kW, 2 × 12 000 A, 500 V.

lignait tout spécialement l'importance que présenterait une telle industrie pour la Suisse. Monsieur Lorenz, Directeur et Monsieur Fehlmann, Ingénieur, firent paraître un examen de la combinaison éventuelle de cette industrie avec la réduction des minerais par voie électrique.

Pour la fabrication de la benzine synthétique, il y a lieu de mentionner que pour la production d'une tonne de carburant liquide, il faut compter avec une consommation d'environ 25 000 kWh et environ 1000 kg de carbone. Comme carbone on peut utiliser toutes les formes de déchets combustibles, ou aussi des houilles de moindre qualité, par exemple l'antracite du Valais. Les calculs faits en son temps montrèrent que le prix de revient du carburant était à l'époque de 40 cts/litre.

Alors que ce procédé n'est pas sur le point d'être appliqué en Suisse, un autre procédé, celui de la synthèse du méthanol sera appliqué très prochainement par la «Holzverzuckerungs A.-G.». Cette société est en train de construire une grande usine avec batterie d'électrolyseurs, en vue de la fabrication de carburant liquide en partant du bois et des déchets de bois.

La métallurgie utilise l'hydrogène pour la fabrication du wolfram et du molybdène, qui sont utilisés dans l'industrie des lampes à incandescence et lampes de radio, et aussi pour la fabrication des métaux durs utilisés pour l'usinage de métaux.

L'utilisation de l'hydrogène comme gaz de protection pour recuire ou tremper des matières prend de plus en plus d'importance.

De même pour certaines applications de la soudure autogène et de la coupe au chalumeau, on emploie de l'hydrogène électrolytique ainsi que l'oxygène résultant de l'électrolyse. Actuellement on étudie la réduction des minerais avec de l'hydrogène et ce serait de grande importance pour la Suisse que ce procédé puisse être mis au point.

La possibilité d'utiliser l'hydrogène comme gaz pour la propulsion de véhicules fut examinée à plusieurs reprises, mais elle ne fut appliquée à cause de la difficulté de transporter suffisamment de gaz sans avoir un poids exagéré de bouteilles haute pression. L'hydrogène qui se prêterait très bien pour l'alimentation des moteurs à explosion, a un pouvoir calorifique maximum d'environ 2500 kcal/m<sup>3</sup>; il faudrait donc 3 m<sup>3</sup> d'hydrogène pour remplacer un litre d'essence. Même avec l'utilisation de bouteilles légères en acier, qui ont un poids spécifique de 5 à 6 kg/m<sup>3</sup> de gaz accumulé, on obtiendrait un poids équivalent de 20 kg par rapport à un litre d'essence. A condition d'avoir de l'énergie électrique à bon marché et pour certains genres de services comme les lignes d'autobus, les voitures de livraisons en ville, etc., il vaudrait la peine d'examiner de plus près ce problème. Il y a lieu de mentionner à cet égard qu'un service de ce genre pourrait plus tard facilement être transformé pour fonctionner au gaz d'éclairage, au méthane ou avec des gaz dissous. Si l'on peut utiliser l'oxygène produit simultanément, la rentabilité de cette installation sera augmentée.

## II. Construction des électrolyseurs de grande puissance.

Alors que le principe de l'électrolyseur d'eau est extrêmement simple, la réalisation technique présente néanmoins une série de difficultés qu'il a fallu surmonter avant d'atteindre l'état actuel des constructions d'électrolyseurs. Une série de constructions qui furent présentées avec les plus grands espoirs sur le marché, ne purent satisfaire aux exigences techniques et elles disparurent de nouveau du marché, non sans que les expériences faites avec elles furent payées chèrement par les constructeurs autant que par les acheteurs.

Ce furent des problèmes concernant la sécurité de service, la longévité et le rendement des installations, la pureté des gaz produits, et qui ne purent être résolus que par une étude détaillée des divers éléments de construction, ainsi que par l'utilisation de matériaux ad hoc fabriqués souvent d'après des procédés spéciaux. Il fallut aussi éviter la corrosion et tenir compte que certains matériaux deviennent cassants sous l'influence de l'hydrogène.

L'étanchement des cellules pour des températures d'électrolyte de 80...85° C fut un problème assez délicat dans la construction des électrolyseurs bipolaires, problème qui peut être considéré comme parfaitement résolu aujourd'hui.

Dans la construction des électrolyseurs on distingue deux types qui ont été très perfectionnés au point de vue sécurité de service, pureté des gaz et rendement. Il s'agit de l'électrolyseur unipolaire et de l'électrolyseur bipolaire.

L'électrolyseur unipolaire, dit aussi électrolyseur à bac, est en principe construit comme un accumulateur. La fig. 4 montre une réalisation d'une telle cellule qui est constituée en principe par un bac en fer rempli d'électrolyte et dans lequel plongent les électrodes. Des cloches collectrices de gaz



combinées avec des diaphragmes en amiante assurent la séparation des deux gaz. En utilisant comme électrolyte une solution de potasse caustique à 25 %, la tension par cellule est de 2...2,3 V, suivant

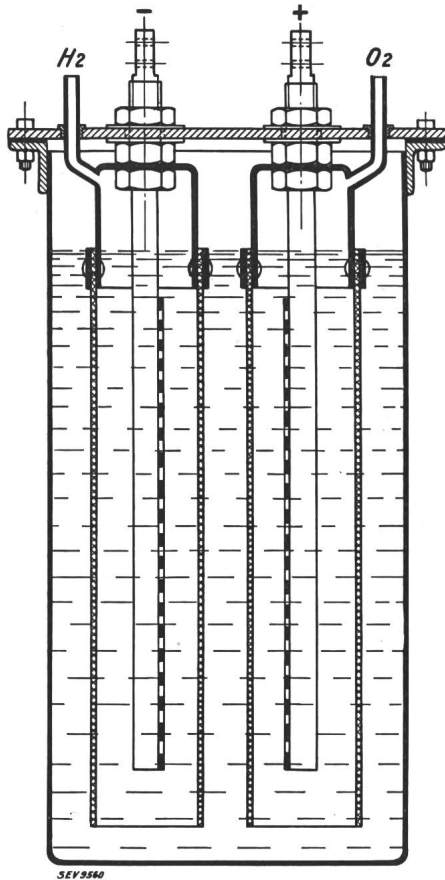


Fig. 4.

Disposition de principe d'une cellule d'électrolyseur unipolaire.

la densité de courant, ce qui correspond à une consommation spécifique de 4,4...5 kWh/m<sup>3</sup> d'hydrogène. Comme cellules de ce type il y a lieu de mentionner les cellules de Knowles, Fauser Holmboe, etc.

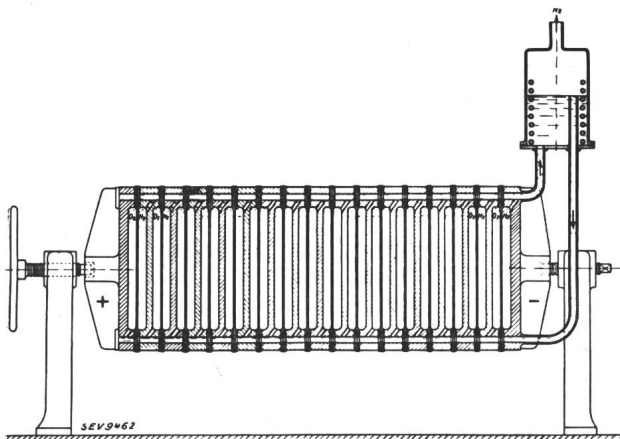


Fig. 5.

Electrolyseur système Oerlikon-Schmidt.

Cette construction qui présente beaucoup d'avantages, a néanmoins certains inconvénients par rapport aux électrolyseurs bipolaires; ceux-ci nécessitent moins de place et sont de beaucoup plus légers.

La fig. 5 montre le principe de l'électrolyseur bipolaire, tel qu'il est construit par les Ateliers de Construction Oerlikon depuis 1902 d'après le brevet Schmidt<sup>3)</sup>. L'électrolyseur comprend une

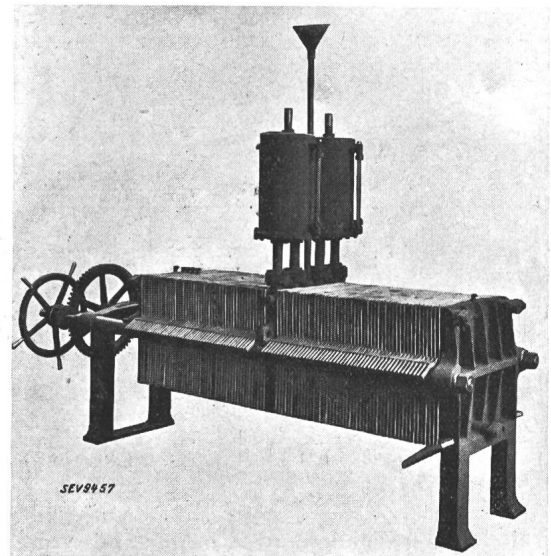


Fig. 6.

Electrolyseur système Oerlikon-Schmidt.

série d'électrodes en plaques avec bords rehaussés entre lesquels sont pincés les diaphragmes en amiante qui servent en même temps comme joints. Tout le bloc est assemblé au moyen de tirants et de fortes plaques d'extrémité. L'émulsion de gaz et d'électrolyte s'échappe par des trous percés dans les plaques et elle passe aux séparateurs de gaz. Dans ceux-ci les gaz sont séparés de l'électrolyte et

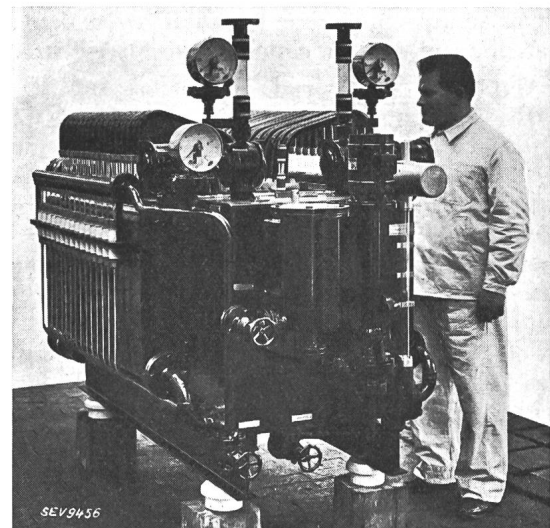


Fig. 7.

Electrolyseur Oerlikon moderne pour 10 m<sup>3</sup> d'hydrogène par heure.

l'eau consommée est remplacée par une adduction d'eau distillée. L'électrolyte retourne aux cellules par des canaux analogues pratiqués dans le bas

<sup>3)</sup> Brevet DRP 111 131.

de l'appareil. Comme électrolyte on employait dans les cellules une solution de potasse à 10 %. Conformément à la pratique actuelle, certains de ces anciens électrolyseurs fonctionnent maintenant avec une solution de potasse caustique.

Il y a lieu de remarquer que cet électrolyseur comprend déjà les caractéristiques essentielles des électrolyseurs actuels de grande puissance. On

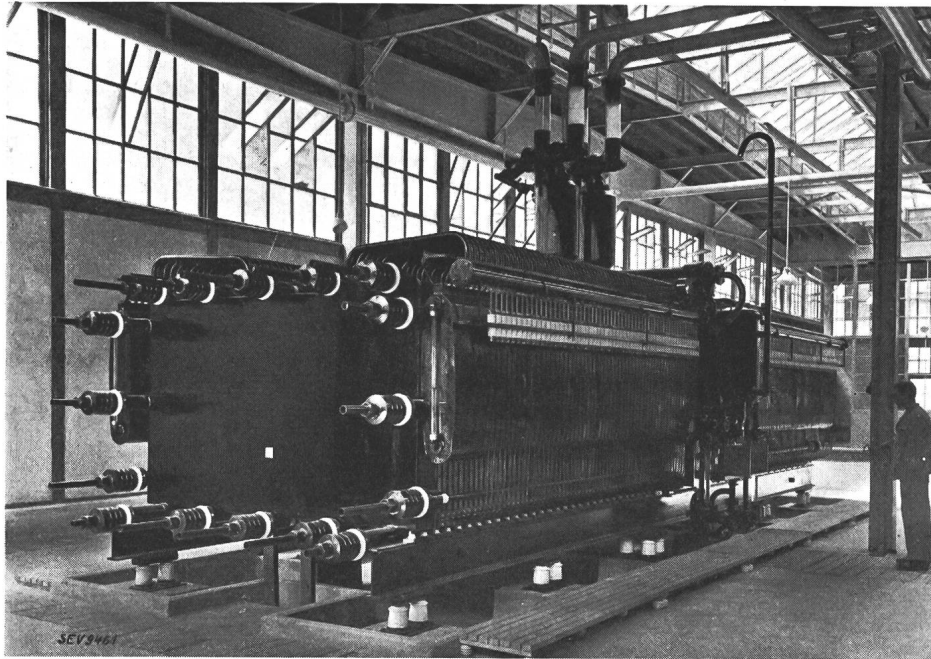


Fig. 8.  
Electrolyseur Oerlikon  
pour 300 m<sup>3</sup> d'hydrogène  
et 150 m<sup>3</sup> d'oxygène  
par heure.

citera tout spécialement le principe des cellules entièrement remplies d'électrolyte et la circulation de l'électrolyte avec séparation des gaz dans deux séparateurs communs à toutes les cellules.

Les Ateliers de Construction Oerlikon livrèrent de 1900 à 1920 plus de 400 électrolyseurs de ce type pour des installations dans le monde entier. La plupart de ces installations sont encore aujourd'hui en service.

Quoique cette construction ait suffi aux exigences d'alors au point de vue pureté des gaz et rendement, la technique actuelle pose plus d'exigences au point de vue prix de revient et rendement, c'est à dire au point de vue rentabilité de l'électrolyseur.

Comme étape dans le développement des électrolyseurs bipolaires, les systèmes Pechkranz et Zdansky sont à mentionner spécialement.

Les diaphragmes en nickel utilisés par Pechkranz, qui sont cimentés dans les cadres des cellules, ont l'avantage d'une plus grande longévité. Ils ont cependant l'inconvénient de rehausser quelque peu la tension de la cellule, ce qui équivaut à une augmentation de la consommation d'énergie.

L'électrolyseur Zdansky (Bamag) est caractérisé en principe par le revêtement des cellules et des séparateurs de gaz avec un matériel isolant, pour éviter les courants de dérivation. Avec cette mesure qui fut déjà proposée antérieurement par des constructeurs américains, la pureté des gaz put être

considérablement améliorée par rapport aux anciens électrolyseurs Oerlikon ou à ceux de Pechkranz.

Depuis environ 6 ans, les Ateliers de Construction Oerlikon ont suivi une autre voie dans la construction des électrolyseurs bipolaires, qui confine aux mêmes buts tout en présentant un certain nombre d'avantages. La fig. 7 montre un petit électrolyseur de ce type ayant un débit d'environ 10 m<sup>3</sup> d'hydrogène/heure, alors que les fig. 8 et 9 montrent un électrolyseur de grande puissance ayant un débit horaire de 300...400 m<sup>3</sup>. La caractéristique essentielle de cette construction réside dans l'emploi de tubes isolants, en verre inattaquable à la solution de potasse caustique, autant pour les sorties des gaz que pour l'amenée de l'électrolyte aux cellules.

Une pompe de circulation d'électrolyte assure

une alimentation sous pression des cellules et permet l'emploi de tubes de verre de faible section, donc de haute résistance électrique. Avec ce moyen,

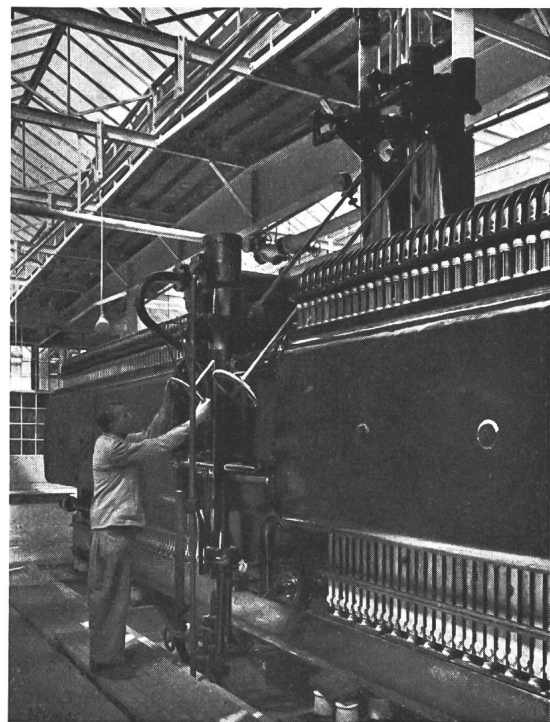


Fig. 9.  
Même électrolyseur que fig. 8.

les courants de dérivation purent être réduits à une valeur pratiquement négligeable. La corrosion qui est produite par les courants dérivés fut aussi évitée. L'emploi d'une pompe de circulation d'électrolyte présente une série d'autres avantages par rapport aux constructions avec circulation d'électrolyte provoquée par l'ascension des gaz. Le débit circulaire de l'électrolyte peut être réglé à volonté et le surcroît de pression de la pompe permet de prévoir un filtre à grand pouvoir. L'alimentation des cellules sous pression augmente la sécurité contre l'assèchement de celles-ci, du fait de dérangements de l'amenée de l'électrolyte, et elle empêche la production de dépôts de boue dans les cellules.

Grâce à ces diverses mesures et à certaines autres améliorations, la charge spécifique de ce type d'électrolyseur put être plus que quintuplée par rapport à l'ancien type d'électrolyseur Oerlikon. En employant comme électrolyte une solution de potasse caustique à 25 %, la tension par cellule

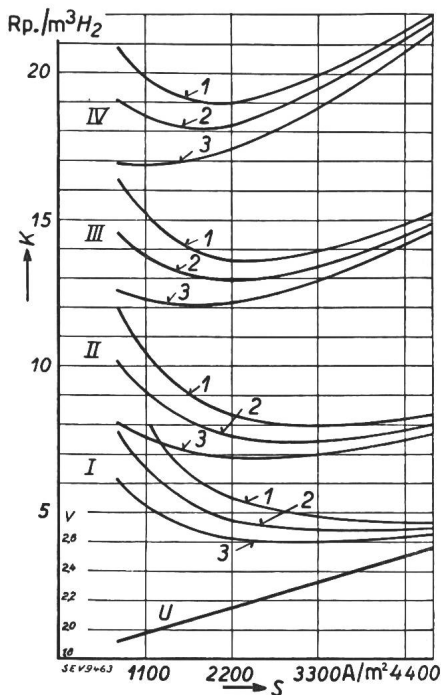


Fig. 10.

Prix de revient ( $K$ , en cts/m<sup>3</sup>) de l'hydrogène, en fonction de la densité de courant ( $S$ ) des électrodes pour un électrolyseur de 300 m<sup>3</sup> d'hydrogène par heure.

Courbes I à 0,5 ct./kWh  
 » II à 1 ct./kWh  
 » III à 2 cts/kWh  
 » IV à 3 cts/kWh  
 Courbes 1 à 3300 heures de service annuel  
 » 2 à 4400 » » »  
 » 3 à 6600 » » »  
 U tension par cellule

suivant le type d'électrolyseur est de 2,1...2,25 V pour une densité de courant de 2000...3000 A/m<sup>2</sup> et la pureté du gaz de 99,9...100 %.

Comme la capacité de charge d'un électrolyseur Oerlikon n'est aujourd'hui limitée que par la

tension de cellule économiquement acceptable, le degré de charge d'une installation peut être choisi de telle manière qu'à un certain prix d'énergie, production annuelle, taux d'intérêt et d'amortissement, le prix de revient de l'hydrogène soit minimum. Les courbes fig. 10 donnent le prix de revient de l'hydrogène pour une installation de 500 m<sup>3</sup> d'hydrogène par heure, en fonction du prix de l'énergie de 0,5; 1; 2 et 3 cts/kWh. Les courbes montrent que pour les prix des matières actuels on a avantage de choisir une densité de charge plus élevée, donc une consommation spécifique plus élevée par m<sup>3</sup> d'hydrogène, pour obtenir le prix de revient minimum.

Au point de vue construction des électrolyseurs, il y a également lieu de mentionner l'électrolyse sous pression. Les constructeurs de ce genre d'appareils voient comme avantage l'économie de travail pour la compression des deux gaz, car dans ce type d'appareils, ceux-ci sont produits directement à une pression de 150...250 kg/cm<sup>2</sup>. Malheureusement le gain de puissance pour la compression, qui ne représente que 5...6 % de la puissance totale, est contrebalancé par une série d'inconvénients qui fait que le plus souvent ce type d'appareils n'entre pas en considération.

Pour les puissances de 1000...2000 kW demandées par l'industrie ce type exigerait une quantité de matières premières, qui ne serait plus en rapport avec le gain envisagé. A cela viennent s'ajouter une série de difficultés d'ordre constructif, comme l'égalisation de pression, l'isolement, l'évitement de courants dérivés, la séparation des gaz, etc. Abstraction faite de certains cas spéciaux pour faible puissance et faible pression, par exemple pour la soudure autogène, ou pour des cas où la séparation des gaz ne joue aucun rôle, le type d'appareils ne jouera pas un rôle important à moins que l'on trouve des principes de construction complètement nouveaux évitant les inconvénients cités.

En ce qui concerne le développement possible des électrolyseurs, on peut prédire que des progrès seront certainement encore faits en ce qui concerne la réduction de la consommation. Le principe de l'appareil Oerlikon avec circulation forcée de l'électrolyte laisse entrevoir les plus grandes possibilités à ce sujet.

### Discussion.

Le Président (Monsieur le D<sup>r</sup> h. c. Schiesser, Président de l'ASE): Nous n'avons encore jamais traité cette matière à l'ASE et en général cette matière nous est assez étrangère; nous tous nous pouvons supposer les grandes difficultés qui ont été surmontées pour aboutir au succès actuel. Nous remercions Monsieur Storsand qu'il nous ait fait une si belle introduction dans un chapitre spécial aussi difficile.

La parole n'a pas été demandée.