Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 26 (1935)
Heft: 8

Artikel: Liquides isolants incombustibles et inexplosifs
Autor: Bölsterli, Arthur A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058447

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: 26.04.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVIe Année | N° 8 | Vendredi, 12 Avril 1935

Liquides isolants incombustibles et inexplosifs.

Par *Arthur A. Bölsterli*, Hamden, Conn., USA.

621.315.615.9

En Amérique, on utilise déjà assez largement de nouveaux isolants liquides à la place de l'huile minérale pour les transformateurs, les condensateurs, etc. Ces isolants incombustibles, qui se vendent sous la désignation de Pyranol, Inerteen, etc., possèdent une grande rigidité diélectrique, une constante diélectrique élevée et un angle de perte très faible. Leur utilisation permet de réaliser des économies sensibles de matériel et de volume par rapport aux huiles minérales. La puissance d'un condensateur, par exemple, augmente de 60 % lorsqu'on se sert de ce nouvel isolant au lieu d'huile minérale ordinaire. L'article ci-dessous traite de la fabrication et des principales propriétés de ces nouvelles matières.

In Amerika finden neue flüssige Isolierstoffe, die unter den Namen Pyranol, Inerteen u. a. gehandelt werden und nicht brennbar sind, bereits weitgehende Anwendung als Ersatz für Mineralöl in Transformatoren, Kondensatoren usw. Sie zeichnen sich durch hohe elektrische Festigkeit, hohe Dielektrizitätskonstante und geringen Verlustwinkel aus. Ihre Verwendung ergibt gegenüber der Verwendung von Mineralöl ganz beträchtliche Material- und Raumersparnis. Beispielsweise ist die Leistung ein und desselben Kondensators 60 % grösser, wenn er mit diesem neuen Isolieröl statt mit gewöhnlichem Mineralöl gefüllt wird. Im folgenden werden Herstellung und wichtigste Eigenschaften dieser Stoffe beschrieben.

Les recherches et les essais en vue de remplacer les huiles isolantes usuelles par une matière ne présentant pas de danger d'incendie, ont abouti récemment aux Etats-Unis à des résultats remarquables. Il s'agit d'hydrocarbures aromatiques chlorés, qui sont liquides aux températures de fonctionnement des appareils et dont la viscosité et le point de congélation peuvent être choisis entre certaines limites par des mélanges appropriés. Leur caractéristique principale est la présence de chlore combiné chimiquement dans une proportion telle, qu'il équivaut chimiquement à l'hydrogène de la molécule de la combinaison. Dans ces conditions, les gaz et les vapeurs qui se dégagent au cours d'une décomposition thermique (par exemple sous l'action d'un arc électrique) ne sont ni inflammables, ni explosifs.

Cette importante propriété serait toutefois sans effet, si ces nouvelles matières ne présentaient en outre une rigidité diélectrique relativement élevée, une grande constante diélectrique et un angle de perte très faible. Du fait qu'elles possèdent ces propriétés, elles sont extrêmement avantageuses pour l'isolement et tout particulièrement pour l'imprégnation des condensateurs statiques [1]). Actuellement, deux grandes firmes américaines les utilisent dans le but de remplacer complètement l'huile minérale. L'économie de matière et de volume atteint presque 50 % et les résultats obtenus jusqu'ici sont très satisfaisants.

[1]) Imhof, Bull. ASE 1934, Nr. 17, p. 469.

On trouve déjà sur le marché des câbles à basse tension, dont l'imprégnation est assurée par ces nouvelles matières; quant aux câbles à haute tension, il en sera prochainement fabriqué. De nombreuses applications ont déjà été faites dans les transformateurs. L'avantage d'une huile isolante ne présentant pas de danger d'incendie est tout particulièrement intéressant pour des transformateurs logés sous les trottoirs, comme c'est fréquemment le cas aux Etats-Unis. Le danger d'explosion n'est naturellement pas complètement exclu, tant qu'un liquide sert à la fois à l'isolement et au refroidissement. Dans les cuves bien étanches, les gaz dégagés sous l'action d'un arc permanent finissent évidemment par provoquer une explosion; mais, avec les nouveaux isolants liquides, un incendie ne peut du moins pas se produire. On commence d'ailleurs de plus en plus, aux Etats-Unis, d'éliminer également le danger d'explosion par l'introduction d'azote et d'hélium comprimés pour l'isolement des transformateurs de force motrice et d'éclairage, ceci à la demande des centrales d'électricité. Au point de vue de la réduction du danger par l'emploi des nouveaux isolants, il est intéressant de noter que les sociétés d'assurance américaines permettent le montage de ces transformateurs dans les ateliers, tandis qu'elles exigent toujours que les transformateurs à bain d'huile soient placés dans des cellules résistant au feu.

L'emploi d'hydrocarbures chlorés dans les disjoncteurs est limité par le fait que les arcs donnent naissance à du chlorure d'hydrogène.

Aux Etats-Unis, ces nouveaux isolants existent sur le marché sous les désignations de «*Pyranol*» et de «*Inerteen*», ces deux produits étant en principe les mêmes. Ces désignations ne caractérisent pas des matières uniformes, mais sont plutôt des noms génériques pour des mélanges qui diffèrent quelque peu selon leur emploi. Il s'agit en principe de dérivés chlorés du benzol et du diphényle, mais le pentachlorure de diphényle (en abrégé P. D.) est préféré pour les raisons indiquées plus loin. Dans ce qui suit, nous allons décrire la fabrication et les principales propriétés de ce liquide isolant, puis en discuter l'emploi.

La fabrication du P. D.[2]) part du diphényle technique dans lequel on fait passer, à l'état fondu et en présence d'un catalyseur (fer), du chlore gazeux jusqu'à ce que le poids spécifique du produit de réaction atteigne 1,53 à la température de 65° C et par rapport à de l'eau à 65° C. Dans cet état, le produit est une huile noire renfermant 54,5 % de chlore. Par distillation fractionnée de 90 à 95 % de cette substance à la pression atmosphérique ou réduite, à une température de 350 à 380° C (à la pression atmosphérique), on obtient une huile presque incolore d'un poids spécifique de 1,52 à 65° C. Sa teneur en chlore correspond à une substitution de 5 atomes de chlore à 5 atomes d'hydrogène dans la molécule de diphényle, d'où le nom de pentachlorure de diphényle donné à la substance ainsi obtenue qui est probablement un mélange des divers isomères possibles.

En arrêtant le processus de chlorage lorsque le poids spécifique (teneur en chlore) est plus ou moins élevé, on peut obtenir toute une gamme de substances[3]), dont les dérivés supérieurs au penta sont, à la température ordinaire, des substances solides résineuses, connues aux Etats-Unis sous la désignation commerciale d' «*Aroclors*», qui comprend également les formes liquides. Pour l'application décrite ci-après, c'est principalement le dérivé pentachloré qui est actuellement le plus important.

Propriétés chimiques.

Comme pour les huiles isolantes usuelles, une grande stabilité contre l'oxydation sous l'action de l'air atmosphérique est également une exigence fondamentale pour les nouveaux liquides isolants. A ce point de vue, les figures 1 (formation d'acides) et 2 (formation de boues) sont intéressantes[4]). Toutes les deux se rapportent au P. D., la formation des boues étant déterminée selon la méthode de Snyder (ASTM). On a constaté que, dans ces dérivés aromatiques, le chlore est très fortement lié et, contrairement à d'autres dérivés organiques du chlore (par exemple le tétrachlorure de carbone), il n'attaque pas, aux températures de fonctionnement des appareils, les métaux importants pour l'électrotechnique.

[2]) Brevet USA n° 1 892 400 (déc. 1932).
[3]) Brevet USA n° 1 892 400.
[4]) Clark, Transact. Am. El. Chem. Soc., vol. 65 (1934), p. 65.

Par suite de la décomposition sous l'action des arcs électriques (arcs dans le liquide), il se dégage presque uniquement du chlorure d'hydrogène volatil et non pas d'hydrogène libre, ni de chlore libre, dans le cas du P. D. Contrairement à ce que l'on croit généralement, la présence de gaz phosgène

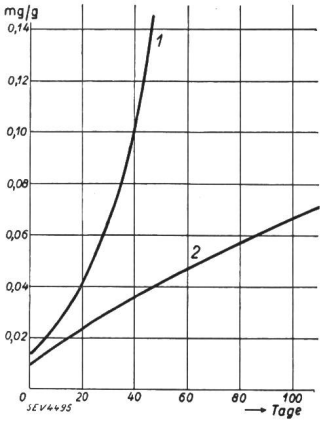

Fig. 1.
Augmentation de la teneur en acides, en mg Na OH par g de liquide, au cours d'essai de longue durée.
1 Huile minérale à 120° C.
2 Pentachlorure de diphényle à 150° C.

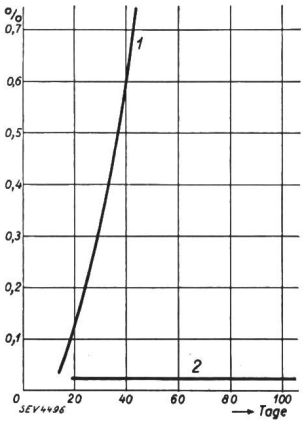

Fig. 2.
Formation de boues en % volume (méthode Snyder, ASTM).
1 Huile minérale à 120° C.
2 Pentachlorure de diphényle à 150° C.

($COCl^2$) n'a jamais été décelée dans le benzol chloré, y compris le trichlorure, ni dans le diphényle chloré, y compris le pentachlorure, ceci même lorsque au cours des essais un mélange intime du liquide et de ses vapeurs avec de l'air et de l'oxygène passe lentement dans un tube chauffé à 400—1000° C, les conditions étant donc les plus favorables à une oxydation[5]).

Degré de fluidité.

La courbe de la viscosité, fig. 3, montre que le P. D. est trop peu fluide pour exercer une action réfrigérante suffisante dans les transformateurs. Par l'adjonction de trichlorure de benzol on peut, comme l'indiquent les fig. 3 et 4, abaisser la viscosité et le point de congélation (courbe 1, fig. 4),

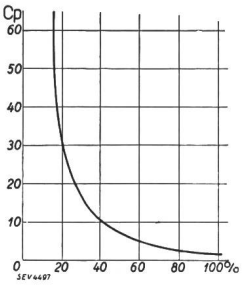

Fig. 3.
Influence de la teneur en trichlorure de benzol (% de poids du mélange) sur la viscosité d'un mélange de pentachlorure de diphényle et de trichlorure de benzol à 37,8° C, en centipoises (Cp).

ce dernier atteignant un minimum très prononcé lorsque les deux substances sont approximativement en parties égales. La comparaison des courbes de viscosité ressort de la fig. 5[6]). L'adjonction de tri-

[5]) Clark, loc. cit.
[6]) Brevet USA n° 1 931 373 (oct. 1933).

chlorure de benzol ne modifie aucunement ce qui a été dit au sujet du danger d'incendie.

Dans le cas des condensateurs, un point de congélation relativement élevé peut parfois avoir pour conséquence la formation de vides dans le diélec-

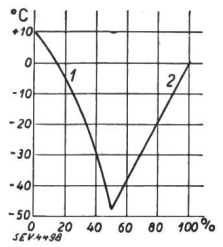

Fig. 4.
Point de congélation («Pour-point», ASTM) de mélanges de pentachlorure de diphényle et de trichlorure de benzol en fonction du % de poids du trichlorure de benzol du mélange.
1 «Pour-point».
2 Cristallisation.

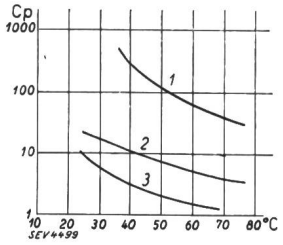

Fig. 5.
Viscosité en centipoises (Cp) en fonction de la température.
1 Pentachlorure de diphényle.
2 Huile pour transformateurs.
3 P. D. et trichlorure de benzol en parties égales.

trique aux basses températures et lorsque les cuves sont étanches. Le mélange ci-dessus peut donc être nécessaire pour les condensateurs soumis à de très basses températures.

Propriétés électriques.

Comme on l'a dit, la constante diélectrique (en abrégé C. D.) élevée est une des caractéristiques de ces nouveaux isolants liquides. Cette propriété est surtout importante pour les condensateurs statiques, car, à contrainte égale, la puissance sous courant alternatif est directement proportionnelle à la C. D., de même la capacité, indépendamment du genre de courant.

Dans le cas des condensateurs statiques où du papier est utilisé, le diélectrique est composé d'un liquide ou d'une matière d'imprégnation et de fibres de papier, ces dernières présentant une C. D. d'environ 6. La C. D. résultante (c'est-à-dire la C. D. du papier imprégné) dépend de la densité relative des fibres et de la C. D. de la substance d'imprégnation,

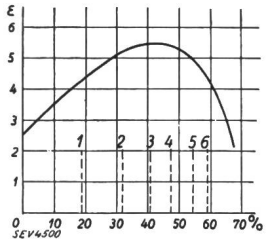

Fig. 6.

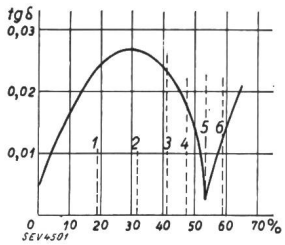

Fig. 7.

Influence du degré de chlorage (% de poids du chlore) du diphényle sur la constante diélectrique (fig. 6) et sur l'angle de perte tg δ (fig. 7).
1 Dérivé mono.
2 Dérivé di.
3 Dérivé tri.
4 Dérivé tetra.
5 Dérivé penta.
6 Dérivé hexa.

selon des relations connues. Avec l'huile isolante usuelle, qui présente une C. D. de 2,5, la C. D. résultante est de 3,5 à 4,0, selon le degré de remplissage par les fibres. Avec le pentachlorure de diphényle, qui présente à la température du local une C. D. d'environ 5, la C. D. résultante est par contre de 5 à 6, c'est-à-dire un gain d'environ 60 % par rapport à l'huile usuelle. En d'autres termes, le même condensateur donnera des résultats de 60 % supérieurs, dus uniquement au fait d'une C. D. plus élevée, lorsqu'il est rempli de P. D. au lieu d'huile usuelle. En réalité, ce rapport est encore plus favorable, car on a pu constater que le P. D. permet une contrainte électrique plus élevée. Du fait de ces deux facteurs favorables, l'économie de matières et de volume atteint 50 %, comme on l'a dit au début.

La fig. 6 montre comment la C. D. du diphényle chloré dépend de la teneur en chlore; la fig. 7 indique la relation entre l'angle de perte et la teneur en chlore [7]). On voit que le dérivé penta présente un angle de perte minimum pour une C. D. proche du maximum (fig. 6), ce qui donne au P. D. une position avantageuse.

L'angle de perte et la C. D. dépendent tous deux de la température, selon les courbes de la fig. 8, dont la forme est caractéristique pour les liquides qui

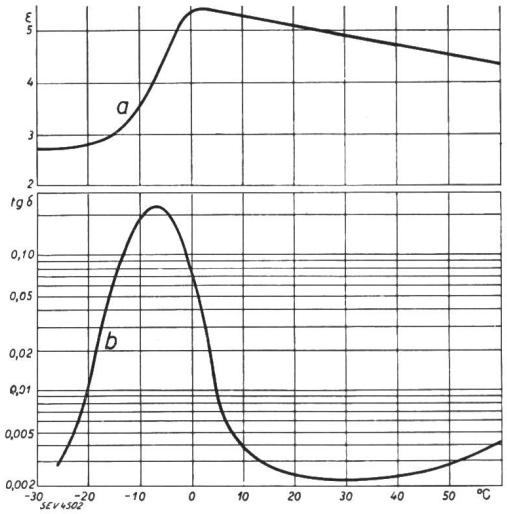

Fig. 8.
Constante diélectrique ε (*a*) et angle de perte tg δ (*b*) du pentachlorure de diphényle en fonction de la température, sous 60 pér./s.

présentent des couples de dipôles [8]). Au sujet des conséquences pratiques de cette relation avec la température, il ya lieu de remarquer que la fig. 8 se rapporte au P. D. seul. Dans le diélectrique complexe de condensateurs à fort courant, la partie de la C. D. afférente aux fibres ne dépend pas beaucoup de la température, de sorte que la C. D. résultante dépend moins fortement de la température que celle du P. D. seul. Au lieu de la valeur minimum 2,7 de la courbe 1, fig. 8, cette valeur est d'environ 3,5 pour le papier imprégné. L'angle de perte du papier imprégné étant surtout déterminé par celui de la substance d'imprégnation, la courbe 2, fig. 8, donne une

[7]) Brevet USA n° 1 931 373.

[8]) White & Morgan, J. Franklin Inst., Vol. 216 (1933), p. 635.

bonne représentation de la dépendance du papier imprégné au P. D. avec la température. Dans le cas des condensateurs à fort courant, il se passe ce qui suit: Quand la température extérieure est de l'ordre de —20° C, les pertes accrues provoquent automatiquement un déplacement des températures de fonctionnement des appareils vers le domaine stable à

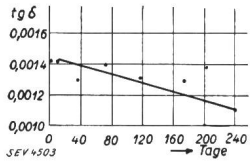

Fig. 9.
Angle de perte d'un condensateur imprégné au P.D., au cours d'un essai de longue durée à 25° C. Contrainte du diélectrique: 18,5 kV/mm, 60 pér./s.

droite de 0° C. Les pertes sont alors accrues du fait que la chute de température doit être maintenue par rapport à la température extérieure. Aux températures extrêmement basses, il peut cependant arriver que, pendant leur durée, la température de fonctionnement des appareils passe à la gauche de la pointe de l'angle de perte (courbe 2, fig. 8), d'où une réduction de puissance de 35 à 40 %, du fait d'une C. D. plus faible. Il est vrai qu'un fait qualitativement semblable peut être prouvé dans le cas des huiles minérales usuelles [9]), mais alors les températures auxquelles se produisent les modifications anormales des pertes diélectriques et de la C. D. (domaine de la dispersion anormale) sont encore beaucoup plus basses et ne se présentent pratiquement jamais. Il s'ensuit que la puissance et les pertes dans le condensateur à huile ne sont pratiquement pas influencées par les basses températures.

La dépendance de la température dont on vient de parler exclut l'emploi du P. D. dans les condensateurs dont on exige une capacité très constante, malgré de grands écarts de température, par exemple pour des condensateurs utilisés dans les circuits accordés, les filtres d'ondes, etc.

La variation de l'angle de perte (fig. 9) au cours d'un essai de longue durée, sous 25° C, d'un condensateur imprégné au P. D. est également intéressante. Malgré une contrainte relativement élevée, l'angle de perte ne subit aucune augmentation au cours de l'essai [10]).

On utilise dans les transformateurs un mélange de P. D. et de trichlorure de benzol en parties à peu près égales, qui présente à la température du local la même C. D. que le P. D., soit environ 5. Cette valeur relativement élevée est désirable lorsqu'il s'agit d'une série de liquides et de matières isolantes solides, qui présentent presque toujours une C. D. supérieure à celle de l'huile. Cet avantage disparaît toutefois aux basses températures, comme le montre la courbe 1, fig. 8.

La rigidité diélectrique du P. D. est comparée à celle de l'huile minérale sur la fig. 10. La fig. 11 indique la tension de perforation d'un diélectrique constitué par des couches de papier de condensateur de différentes épaisseurs et imprégné une fois avec de l'huile et une autre fois avec du P. D. Les mesures se rapportent en outre à deux températures différentes. L'imprégnation au P. D. donne toujours des valeurs plus élevées et, contrairement à ce qui se

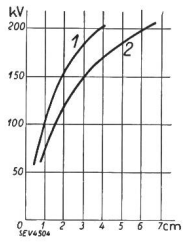

Fig. 10.
Tension de perforation à 25° C entre disques circulaires en laiton de 2,54 cm ⌀.
1 Pentachlorure de diphényle.
2 Huile minérale.

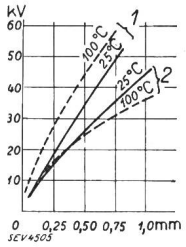

Fig. 11.
Tension de perforation de couches de papier imprégnées, constituées par des feuilles de papier de 0,008 mm d'épaisseur.
1 Imprégnation au pentachlorure de diphényle.
2 Imprégnation à l'huile minérale.

passe avec l'huile, la rigidité augmente avec l'accroissement de la température. Selon l'expérience, on peut pratiquement admettre des contraintes d'au moins 10 % supérieures à celles prévues généralement pour les huiles usuelles.

[9]) Stoops, Physics, vol. 2 (1932), p. 322.

[10]) Clark, loc. cit.

Das Kraftwerk Rheinau.

Vertragsabschluss zwischen der Stadt Winterthur, der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen, der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, und den Nordostschweizerischen Kraftwerken A.-G., Baden.

Von *W. Howald*, Winterthur. 621.311.21(494)

In der Tagespresse zirkulierte kürzlich eine Notiz, wonach unter die jahrelangen Konzessionsbemühungen der Stadt Winterthur für ein Kraftwerk Rheinau der Schlussstrich gesetzt wurde, indem sich die verschiedenen Konzessionsbewerber einigten. Es dürfte von allgemeinem Interesse sein, wenn nachfolgend kurz die Entwicklung des Projektes geschildert wird, da diese Entwicklung zugleich die Fortschritte im Bau von Niederdruckwerken illustriert. Ueber die Geschichte, welche sich um die Konzessionsbewerbung abspielte, orientiert die stadträtliche Weisung an den grossen Gemeinderat von Winterthur, der die folgenden Ausführungen zum Teil entnommen sind.

Die Gemeindeversammlung vom 7. März 1901 beauftragte den Stadtrat, zusammen mit der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen (AIAG) und der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, für den deutschen Anteil, die