

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 59 (1968)
Heft: 19

Rubrik: Production et distribution d'énergie : les pages de l'UCS

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: 12.01.2025

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

Production et distribution d'énergie

Les pages de l'UCS

Expériences d'exploitation faites avec les câbles à isolation en matière synthétique

Rapport sur la 33^e Assemblée de discussion du 14 décembre 1967 à Zurich et du 4 juillet 1968 à Lausanne

Expériences d'exploitation faites avec des câbles isolés au polyéthylène dans le réseau à haute tension des entreprises électriques argoviennes

Par E. Wernli, Aarau

621.315.211.9.004.6

Depuis le début de la fabrication en Suisse des câbles à haute tension isolés au polyéthylène (PET), en 1950, aucun progrès notable n'a été réalisé quant à la rigidité diélectrique.

Si l'on considère les propriétés physiques du polyéthylène, on comprend les efforts de l'industrie des câbles en vue d'introduire cette matière synthétique à titre de diélectrique, tant pour les câbles à haute et à basse tension que pour les câbles de télécommunication et les conducteurs isolés.

En ce qui concerne les câbles à haute et à basse tension — auxquels se limitent les considérations qui suivent —, c'est avant tout la faible constante diélectrique, le minime facteur de pertes diélectriques ainsi que la rigidité diélectrique apparemment élevée qui militent en faveur de l'emploi du polyéthylène comme isolant. Bien que l'industrie chimique qui s'occupe de la fabrication des éléments de base parle de la bonne homogénéité du matériau de départ, la rigidité diélectrique ne s'est pas encore sensiblement améliorée. La rigidité diélectrique du polyéthylène, mesurée sur des feuilles, est très différente selon les publications techniques, puisqu'elle varie d'après l'épaisseur des échantillons entre quelque 30 kV/mm pour une plaque de 1 mm et 600 kV/mm pour une feuille de 0,02 mm d'épaisseur.

Mais les essais ont clairement prouvé que la rigidité diélectrique, en alternatif, dépend fortement de l'épaisseur de la feuille. C'est ainsi qu'elle atteint environ 73 kV/mm pour les feuilles de 0,3 mm d'épaisseur, tandis que des plaques de 1,0 mm d'épaisseur sont déjà percées à 43 kV/mm. Cette dépendance de la rigidité du polyéthylène de l'épaisseur de la feuille n'a pas pu être décelée lors d'essais de claquage sous tension continue. Dans ce cas-ci, la rigidité diélectrique atteint 650 kV/mm, quelle que soit l'épaisseur de l'échantillon.

La rigidité diélectrique des câbles isolés au polyéthylène, dont le conducteur en cuivre est enveloppé par vaporisation de polyéthylène, se comporte autrement que pour les plaques et les feuilles. On constate ici que la rigidité diminue très rapidement à mesure que le rayon du conducteur augmente; ainsi, par exemple, on a mesuré pour un rayon de 0,5 mm 80 kV/mm, tandis qu'avec un rayon de 1,5 mm on n'obtenait plus que 42 kV/mm.

Il ressort donc des recherches effectuées que la rigidité diélectrique des câbles isolés au polyéthylène est essentiellement une fonction du rayon du conducteur, et qu'elle est presque entièrement indépendante de l'épaisseur de l'isolation, ce qui paraît être une propriété intrinsèque du matériau avec les procédés usuels de vaporisation. Des essais de choc sur câbles isolés au polyéthylène ont également permis d'observer une dépendance étroite de la rigidité diélectrique des diamètres des conducteurs.

Il faut admettre que dans les câbles au polyéthylène, le claquage peut être amorcé par des décharges qui se forment dans des cavités de l'isolation. On a donc constaté qu'avec le polyéthylène, isolant par ailleurs si intéressant pour la technique des câbles, on ne saurait, du moins pour l'instant, compter sur une rigidité diélectrique élevée.

En ce qui concerne le transport de l'énergie, on ne devra pas estimer la rigidité diélectrique à plus de 15 à 18 kV/mm environ, de sorte que, dans l'état actuel de la technique, il faudra bien donner à ces câbles la même épaisseur d'isolation qu'aux câbles à masse normaux.

D'après les recherches des câbleries et la littérature publiée à ce sujet, la situation se présente aujourd'hui comme suit:

Les claquages du polyéthylène sont dus exclusivement à la présence de minces lames d'air ou de particules de poussière; et la décharge d'effluves électriques est un ennemi mortel du PET. Les poussières favorisent les ramifications à l'intérieur du PET et mènent finalement au claquage. A côté de cela, on suppose que sous l'influence d'un rayonnement par ondes courtes ou d'une autre forme d'énergie, une modification de la structure moléculaire est possible dans le sens d'une cristallisation. Celle-ci amènerait un changement de volume, lequel provoque à son tour la formation de cavités et par conséquent de nouveaux effluves électriques.

Ce dernier processus signifierait un défaut de matériel, tandis que les deux précédents exigeraient un soin accru dans la fabrication du câble PET. En outre, il est notoire qu'on ne peut obtenir l'adhérence du PET par les moyens usuels. Ce qui veut dire que des fentes minuscules se présentent toujours aux surfaces limites du PET.

Les câbleries munissent alors la corde de cuivre soigneusement nettoyée d'une gaine en PET pressée avec le plus grand soin, et dont la surface est rendue conductrice au moyen de graphite. Pour éviter l'entrée de poussières dans le PET, le matériau granuleux est prélevé du récipient à l'aide de petits tubes et introduit directement dans la presse.

Une câblerie anglaise entoure la corde de cuivre des câbles de plus de 6 kV d'une couche semi-conductrice, autour de laquelle s'applique la gaine de PET. Cette méthode rend sans importance les bulles d'air sur la corde de cuivre, puisqu'elles sont court-circuitées par le semi-conducteur. Par contre, une nouvelle difficulté se présente pour l'adhérence de cette couche semi-conductrice au PET. Ici également les fentes, même les plus fines, doivent être évitées à tout prix lors des alternances de dilatation de la corde de cuivre. Or, comme une liaison fixe avec le PET ne réussit pas et que, d'autre part, la face interne du PET n'est pas accessible lors de la compression pour introduire le graphite, le problème n'est pas facile à résoudre.

Etant donné qu'au début, des différences notables existaient entre les méthodes de fabrication des câbleries suisses, on a essayé de déterminer, à l'aide de la statistique de notre entreprise, si les méthodes de fabrication se répercutaient de façon sensible sur la durée de vie des câbles PET.

Je tiens à préciser d'abord que le canton d'Argovie est parcouru par trois grands fleuves, l'Aar, la Reuss et la Limmat, et en partie par le Rhin qui marque sa frontière, ce qui représente les $\frac{2}{3}$ du débit fluvial de la Suisse. En outre, il existe dans le canton d'Argovie de vastes étendues d'eaux souterraines et dans la vallée du Rhin d'importants gisements salins. Ces éléments contribuent à la fréquence des orages.

D'après notre statistique, il y a un accroissement linéaire des défauts par rapport au nombre et à la longueur des câbles d'amenée PET. De 1951 à 1961 il a été posé 81 câbles d'accès aux postes de transformateurs, représentant une longueur totale de 12839 km. Les câbles ont été fournis par trois câbleries:

Câblerie 1: 26 amenées d'une longueur totale de 5,084 km. 11 d'entre elles, sur 2 km environ, ont eu des défauts.

Câblerie 2: 25 amenées d'une longueur totale de 4,203 km. 7 d'entre elles, sur 2,2 km en tout, ont eu des défauts.

Câblerie 3: 30 amenées d'une longueur totale de 3,552 km. 7 d'entre elles, sur 0,525 km en tout, ont eu des défauts.

On peut résumer les résultats obtenus comme suit:

1. Après fabrication des câbles à 16 kV, l'angle de pertes était, pour des tensions de 6 à 29 kV dans le câble, fréquence 50 Hz, de

$$\operatorname{tg} \delta \cong 0,2 \dots 0,4$$

2. Au bout de 5 ans, les tronçons de câbles démontés accusent au contraire, pour des tensions de 6 à 29 kV dans le câble,

$$\operatorname{tg} \delta \cong 0,3 \dots 0,9$$

On constate par conséquent une forte augmentation des pertes diélectriques au bout de 5 ans. Cet accroissement est très différent selon les tronçons, ce qui veut dire qu'il s'agit d'une détérioration locale des propriétés du câble.

La localisation des défauts au moyen du pont de mesures a montré que le câble était défectueux en plusieurs endroits du même conducteur. Par conséquent, pour des raisons d'exploitation, les câbles ne pouvaient pas être réparés et devaient être remplacés. A quelques exceptions près, on leur a substitué des câbles sous plomb isolés au papier. Comme le délai de garantie était échu dans la plupart des cas, les frais de remplacement furent à la charge de l'entreprise électrique. Quelques tronçons avariés furent envoyés aux câbleries pour examen et détermination de l'origine du défaut.

Les essais de choc portant sur des tronçons d'une vingtaine de mètres d'un câble ont été exécutés par tensions de choc croissantes, d'abord à 150 kV (1000 chocs), puis à 160 kV (500 chocs), 170 kV (500 chocs), etc. Les résultats peuvent être résumés ainsi:

a) Pour des tensions de choc de polarité constante, on obtient des valeurs de claquage de 210 à 250 kV après 4500 à 6800 chocs en chiffre rond.

b) Pour des tensions de choc de polarité alternée (10 +, 10 -, 10 +, 10 -, etc. pour la même série de tensions 150 kV, 160 kV, etc.) on a atteint seulement 150 kV pour la tension de claquage dans deux séries, au bout de 624...960 chocs environ.

Dans deux autres séries, on a atteint 170 kV après 2050 chocs en tout, ainsi que 180 kV au bout d'un total de 2120 chocs.

c) Avec une tension alternative permanente de 13 kV à 50 Hz, superposée aux tensions de choc, ceci à raison chaque fois de 10 chocs positifs avec un déphasage de φ puis de 10 chocs positifs avec un déphasage de $(180^\circ + \varphi)$, 3 séries ont donné les résultats suivants: 150 kV après 800 chocs, 170 kV après 1940 chocs, 180 kV après 2200 chocs au total.

d) Une dernière série avec tension alternative permanente de 13 kV, superposée aux tensions de choc mais selon une succession quelconque quant à la phase, a donné 190 kV au bout de 2500 chocs à peine.

Ces essais de choc détaillés permettent de conclure qu'il existe un effet de renversement de la polarité, puisque les tensions de choc appliquées toujours avec la même polarité ont donné des claquages entre 210 et 250 kV, au lieu de 150 à 180 kV dans tous les cas où la polarité était inversée tous les 10 chocs.

On constate en outre que le tronçon restant d'un câble dont une partie a déjà subi un claquage admet toujours une tension disruptive nettement supérieure à celle du câble entier.

Cette observation indique donc qu'il existe des points faibles dans les câbles, ce qui signifie que la qualité n'est guère homogène; la dispersion des valeurs est relativement grande. Enfin, on peut tirer du grand nombre d'essais de choc effectués la conclusion essentielle qu'il n'y a pas d'affaiblissement de l'isolation PET lors de tensions de choc élevées.

Sur la base d'autres essais et en tenant compte de la statistique des câbles défectueux des trois câbleries fournisseurs, on peut déduire qu'il ne s'agit pas de défauts de fabrication ou de matériel. Il n'y a pas accumulation de défauts de fabrication, ou de matériel.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble que l'origine des défauts soit le plus souvent un effet perturbateur à la couche limite PET-conducteur.

Aussi longtemps qu'on ne pourra pas indiquer la cause des claquages et par conséquent les moyens propres à les empêcher, on ne saurait parler de «défauts de fabrication». On ne peut donc répondre que négativement à la question d'une fréquence inusitée de défauts de fabrication.

Pour les raisons indiquées, il faut donc tenter par tous les moyens de tirer au clair le problème de la couche limite PET-Cu et la formation éventuelle de charges spatiales dans les cavités du PET.

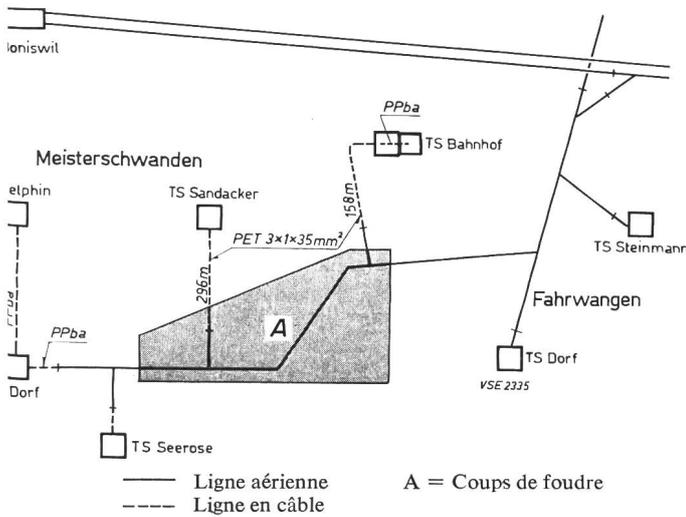
Il y a quelques années, la General Electric avait procédé à des essais précis sur des câbles courts pour la haute fréquence, isolés au polyéthylène, en vue de déterminer leur durée de vie. Les impulsions, comptabilisées par un compteur, étaient données à différentes fréquences et pour diverses formes de l'onde de choc. Les décharges dans le diélectrique avaient lieu indépendamment de la fréquence. Ces essais ont montré qu'il faut donner un nombre déterminé d'impulsions pour détériorer l'isolation, autrement dit que la durée de vie du câble dépend d'un nombre précis d'impulsions:

Sous 9 kV	pour 100 impulsions par période
	durée de vie à 50 Hz: 16 ans
sous 10 kV	durée de vie à 50 Hz: 2,3 ans
sous 20 kV	durée de vie à 50 Hz: 2,8 mois

Le matériau isolant est rongé par les décharges de l'effet couronne, d'où naissance de cavités. Avec le polyéthylène il n'y a pas de carbonisation.

Il résulte de ces essais qu'au cours de sa durée de vie, un bon câble supporte 1012 impulsions, un mauvais câble seulement 109. Nous exposons ci-après quelques localisations de défauts sur des câbles.

A. Défauts au câble à haute tension, au polyéthylène, 16/9,2 kV, 3 x 1 x 35 mm², 296 m à Meisterschwanden-Sandacker



	épaisseur mm	diamètre mm
fabrication 1953		
cuivre		7,65
isolation	5,5	18,65
bande graphitée	0,10	19,05
bande de cuivre	0,15	19,65
gaine PVC	1,80	23,25

Pose: 80 à 90 cm de profondeur dans le sol; recouvert de dalles en béton type Hunziker no 13.

Extrémités: d'un côté au poste transformateur Sandacker et de l'autre sur support de 10 m avec boîtes d'extrémité qui furent remplacées ultérieurement par un type amélioré.

Protection: parasurtension au poste de transformation.

Données: extrémités du câble en porcelaine remplie d'araldite.

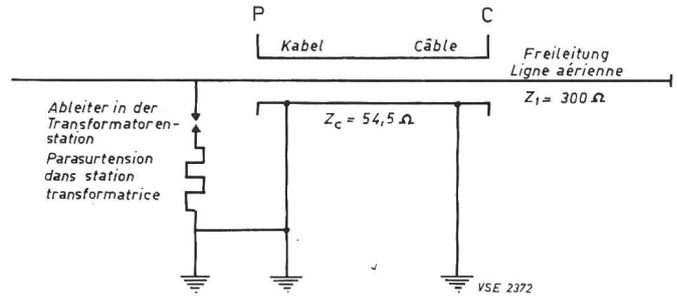
Date	Description
Juin 1953	Pose du câble et montage des boîtes d'extrémité.
4 oct. 1953	Claquage à l'une des boîtes d'extrémité et remplacement par trois nouvelles boîtes améliorées.
15 janv. 1954	Claquage à l'une des boîtes d'extrémité d'un autre câble du même réseau.
26 févr. 1954	Nouveau claquage d'une boîte d'extrémité et remplacement par trois nouvelles boîtes.
15 sept. 1954	Claquage d'une boîte d'extrémité T 230 d'un autre câble du même réseau.
décembre 1956	Remplacement des boîtes d'extrémité par des boîtes améliorées remplies de pentalex.
juillet 1958	Claquage du câble à 83 m du poteau, dû probablement à une surtension, réparation avec 3 m de câbles et 6 manchons.
décembre 1958	Nouveau claquage à environ 60 m du poteau.
19 déc. 1958	Claquage dans un manchon.
fin déc. 1958	Remplacement du câble entier par un nouveau câble à haute tension, 20/11,5 kV, avec épaisseur d'isolation de 6,6 mm.

Explication de l'accident:

La région de Meisterschwanden subit de violents orages. Il était nécessaire d'étudier cette installation au point de vue de l'isolation; dans ce but, on compare le niveau de la protection du parasurtension avec les surtensions possibles le long du câble. Voici le schéma de l'installation:

- capacité du câble $C = 0,139 \mu\text{F}/\text{km}$
- inductivité du câble $L = 0,412 \text{ mH}/\text{km}$
- constante diélectrique $\epsilon = 2,3$
- impédance caractéristique $Z_c = 54,5 \Omega$
- vitesse de propagation $V = 198 \text{ m}/\mu\text{s}$

On en déduit que le temps qu'une onde de choc emploie pour parcourir le câble est de 1,5 μs . Nous désignons cette durée par T .



Si une surtension avec une raideur de front S_1 en $\text{kV}/\mu\text{s}$ arrive sur le câble par la ligne aérienne, il y a réflexion au point C, dont le facteur de réflexion a la valeur suivante:

$$\Gamma_c = -\frac{Z_1 - Z_c}{Z_1 + Z_c} = -\frac{300 - 54,5}{300 + 54,5} = -0,7$$

Le facteur de réflexion étant égal à 0,7, l'onde qui traverse le câble aura une raideur de front $S_c = 0,3 S_1$. La tension au point C croît avec le temps. Sa valeur à chaque moment est de

$$U_C = t S_C = 0,3 t S_1$$

Après la première période T_1 l'onde de surtension atteint le parasurtension au point P. Aussi longtemps que le parasurtension ne s'amorce pas, l'onde est réfléchi au point P avec le facteur $\Gamma_P = 1$. La réflexion de l'onde permet alors un accroissement de la tension tel qu'à la fin de la seconde période T_2 le câble entier est au même potentiel.

$$U_C = U_P = 2 T \cdot S_C = 2 T \cdot 0,3 S_1$$

Durant la troisième période, la tension continue à monter au point C, tandis que la tension au point P demeure constante, etc.; à chaque période les tensions s'accroissent par degrés.

Comme la tension au parasurtension est limitée à un certain niveau, l'amorçage se fera tôt ou tard. Mais il faut encore une période entière T pour que l'amorçage au point P soit perceptible à l'autre bout du câble. Pendant cette période la tension en C continue à monter.

Cet exemple montre une différence de potentiel entre les points C et P égale à $T \cdot 0,45 S_1$. Théoriquement, elle peut atteindre la valeur $T \cdot 0,6 \cdot S_1$.

Une onde de surtension avec une raideur de front de 150 $\text{kV}/\mu\text{s}$ serait alors suffisante pour provoquer entre le commencement du câble et le parasurtension une différence de potentiel théoriquement égale à 135 kV. Mais en pratique elle serait d'environ 100 kV. Cette tension s'ajoute à la tension d'amorçage du parasurtension qui peut atteindre 75 kV. On voit par là que la tension du câble peut atteindre une valeur de l'ordre de 175 kV.

175 kV représente environ la tension disruptive à 50% d'un câble au polyéthylène avec une isolation de 5,5 mm d'épaisseur, alors que la tension disruptive d'un câble avec une isolation de 6,6 mm d'épaisseur, est de 210 kV environ.

Dans tous les cas, il serait préférable d'améliorer la protection contre les surtensions par la pose de parasurtensions au départ du câble, ou bien, mieux encore, sur un poteau à quelque distance du câble. Une protection faite de parasurtensions seulement au poste de transformation est parcontre absolument suffisante pour des câbles courts, c.-à-d. d'une longueur inférieure à 100 m environ, ou bien pour les câbles isolés au papier dont la tension disruptive est *beaucoup plus élevée*.

B. Défaut au câble d'amenée Mägenwil-Löwen

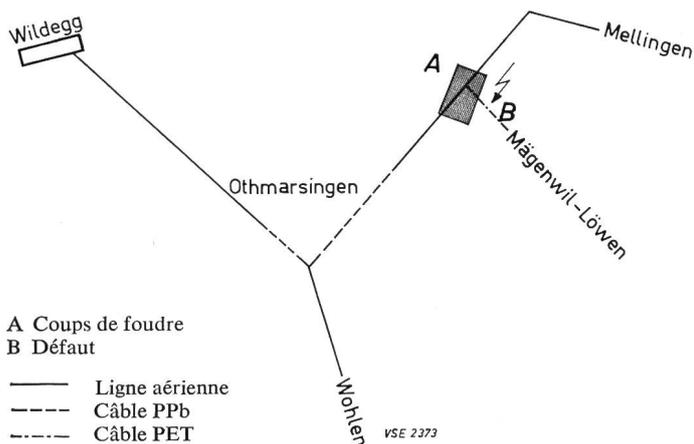
1. Données du câble

255 m câble au polyéthylène	$3 \times 1 \times 35 \text{ mm}^2$, 16 kV
3 boîtes d'extrémité en plein air	VFT 20-401
3 «stress-cone»	SCJ 74-110
Livraison le 15 novembre 1957	
$d_{\text{int.}}$	= 7,65 mm
$d_{\text{ext.}}$	= 18,05 mm
capacité de service C	= 0,142 $\mu\text{F}/\text{km}$
impédance caractéristique	= 38 Ω
vitesse de propagation	= 200 m/ μs

2. Nature du défaut

Localisé au moyen de la méthode capacitive et de résonance, le défaut se trouvait à 153 m du poste de transformation de Löwen. Tous les conducteurs étaient fondus. Aucune indication n'était décelable à cet endroit, étant donné que l'isolation en polyéthylène avait fondu également durant le court-circuit.

Selon les dires des habitants du village, la foudre avait frappé un poirier situé dans le voisinage, le 31 juillet 1959 à 15 h. On a pu déceler la trace de la foudre dans la racine de l'arbre. Au village de Mägenwil, il a fallu remplacer après le coup de foudre les coupe-circuit d'entrée à 41 appareils de téléphone.



Sur le plan tracé, on voit que l'endroit frappé est à 20 m environ de la ligne aérienne entre les sous-stations Wildegg et Othmarsingen. On n'a pas pu déceler ni traces de fusion aux fils d'amenée, ni éclats de bois aux poteaux pouvant indiquer un coup de foudre direct. Les recherches entreprises par la suite ont montré que le claquage peut s'expliquer par des tensions induites. Un conducteur défectueux à la suite des surtensions atmosphériques amorça d'abord un court-circuit à la terre. L'arc entre conducteur en cuivre et écran de cuivre eut

pour conséquence de détruire également l'isolation en polyéthylène des conducteurs sains au voisinage du claquage. Une fois l'isolation de tous les conducteurs fondus, le court-circuit à la terre aboutit au court-circuit généralisé du 1^{er} août 1959 à 11 h.

3. Réparation et essais

Le monteur a posé 10 m de câble TTFB $3 \times 1 \times 35 \text{ mm}^2$ et raccordé 2 manchons. Le câble a subi avec succès après la perturbation l'essai à tension continue de 37 kV durant 30 minutes.

4. Explication du claquage

Nous avons dit sous 2 ci-dessus que le claquage de l'isolation du câble était dû à des surtensions induites. D'après la théorie de Wagner et Mc. Cann, lors de coups de foudre d'une intensité de l'ordre de 60 kA, des tensions induites pouvant aller jusqu'à 1,5 MV ne sont pas exclues, si la ligne aérienne n'est distante du point d'impact que de 20 m.

Le passage du câble se trouve à une centaine de mètres du point de frappe de la foudre, c.-à-d. que la durée de la montée de l'onde progressive est inférieure à 0,3 μs . Vis-à-vis des ondes de choc d'une durée de front moindre que 0,3 μs , la boîte d'extrémité se comporte comme un éclateur, c.-à-d. que sa caractéristique au choc monte en fonction de la raideur croissante de l'onde choc. La caractéristique au choc de l'isolation du câble est beaucoup plus aplatie quand la durée de la décharge diminue. Par conséquent, le câble n'est plus protégé par la boîte d'extrémité contre les chocs rectangulaires.

Si nous désignons par U_1 la tension induite sur la ligne aérienne, on peut déterminer la tension U_0 au point de passage de cette ligne au câble par la formule:

$$U_0 = \frac{2 \cdot Z_{\text{res}}}{Z_1 + Z_{\text{res}}} U_1 \text{ avec } Z_{\text{res}} = \frac{Z_1 \cdot Z_k}{Z_1 + Z_k}$$

Z_1 impédance caractéristique de la ligne aérienne = 500 Ω

Z_k impédance caractéristique du câble au polyéthylène = 38 Ω

En admettant que la tension induite sur la ligne aérienne U_1 atteint 1,5 MV, on obtient pour l'ordre de choc sur le câble:

$$U_0 = \frac{2 \cdot 36}{536} U_1 = 0,135 U_1 \cong 200 \text{ kV}$$

Cette onde de choc parcourt le câble et atteint au bout de 1,3 μs le parasurtension du poste de transformateur. Si la rigidité diélectrique du conducteur est dépassée pendant la durée de la tension de choc, le câble est percé avant que le parasurtension réagisse.

L'intensité du champ dans le câble est la suivante:

$$E = \frac{U_0}{3,8 \ln \left(\frac{d_a}{d_i} \right)} = \frac{200}{3,8 \ln \left(\frac{1,8}{0,76} \right)} \cong 62 \text{ kV/mm}$$

Selon différentes mesures, par exemple d'après le rapport de la CIGRE no 205 de 1956, la dispersion des valeurs de claquage pour les câbles au polyéthylène est très grande. Pour des épaisseurs d'isolant jusqu'à 5 mm, l'intensité du champ qui provoque le percement varie entre 40 et 70 kV/mm. Dans le cas présent, un claquage du câble au polyéthylène est donc possible.

5. Comparaison avec les câbles isolés au papier

Pour le câble correspondant isolé au papier $3 \times 1 \times 35 \text{ mm}^2$ à 16 kV, l'impédance caractéristique $Z_k = 29 \Omega$. Le gradient de potentiel peut être estimé à environ 75 kV.

D'après les équations précédentes, l'onde de choc incidente sur le câble isolé au papier atteindra

$$U_0 = \frac{2 \cdot Z_{res}}{Z_1 + Z_{res}} U_1 = \frac{2 \cdot 27,5}{527} \cdot 1500 \cong 155 \text{ kV}$$

Le champ électrique maximum est par conséquent :

$$E = \frac{155}{3,8 \ln \left(\frac{1,95}{0,76} \right)} = 42 \text{ kV/mm}$$

Comme on le voit, le câble isolé au papier se comporte plus favorablement que le câble au polyéthylène vis-à-vis des ondes de choc,

- a) parce que son impédance caractéristique est plus petite et
- b) parce que la dispersion des valeurs de claquage est faible à cause de la disposition par couches de l'isolation en papier.

6. Sollicitation thermique du câble au polyéthylène par court-circuit

Les qualités de polyéthylène utilisées aujourd'hui se ramollissent vers 100 °C. Il est donc indispensable que cette limite ne soit pas dépassée en cas de court-circuit. On peut éviter un ramollissement du diélectrique sur le conducteur en choisissant pour celui-ci une section de cuivre suffisante.

Le calcul du courant de court-circuit se base sur les hypothèses suivantes :

Puissance du court-circuit du réseau 50 kV	$S = 800 \text{ MVA}$
Puissance du transformateur	$S_{tr} = 2 \times 8 \text{ MVA}$
Tension de court-circuit des transformateurs	$\varepsilon = 8 \%$
Ligne aérienne 5,3 km 70 mm ² Cu	$X_F = 0,33 \text{ } \Omega/\text{km}$
Câble 100 m 3 × 35 mm ²	$X_k = 0,012 \text{ } \Omega/\text{km}$

On en déduit que le courant de court-circuit dans le réseau à 16 kV

$$I_k = 2800 \text{ A}$$

Les interrupteurs de la sous-station de Wildegg sont à réenclenchement rapide. Pour garantir la gradation dans le temps, les relais de ligne sont réglés pour $I = \infty$ et $t = 1,1 \text{ sec}$. D'après nos instructions, en cas de réenclenchement sans succès, le surveillant doit actionner à la main le disjoncteur de ligne, de sorte que la durée totale du court-circuit est alors

$$t = \text{temps propre} + 2 \cdot 1,1 \text{ sec} \cong 2,3 \text{ sec}$$

A partir de là on peut calculer l'écart de température $s \vartheta$ du conducteur en cuivre :

$$A_{cu} = \frac{I_0 \cdot \sqrt{F}}{\sqrt{\frac{C}{\rho \alpha} \ln(1 + \alpha s \vartheta)}}$$

Avec $C = 3,45 \frac{Ws}{\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}}$ $A_{cu} = 35 \text{ mm}^2$

$$\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}} \quad I_k = 2800 \text{ A}$$

$$\rho = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega \text{ cm} \quad t = 2,3 \text{ sec}$$

ce qui donne un écart de température $s \vartheta = 88 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Si la température du conducteur est de 20 °C avant le court-circuit, elle atteindra 108 °C après celui-ci, c.-à-d. que le polyéthylène se ramollira vraisemblablement au voisinage du conducteur en cuivre.

Un grand nombre de défauts de câbles se sont produits pendant des orages. L'un des câbles examinés présentait des

traces d'ionisation sur la face interne de l'isolation, par contre ni le diélectrique ni les autres composants ne montraient des signes de vieillissement. La faible ionisation de l'isolant est due très probablement à de fortes surtensions, provoquées par des décharges atmosphériques ou par des court-circuits à la terre dans le réseau (les court-circuits francs à la terre donnent la tension composée, les court-circuits intermittents peuvent provoquer un multiple de cette tension). Quant à savoir si le fonctionnement ou la sécurité d'exploitation sont altérés par une légère ionisation et le cas échéant dans quelle mesure, il est difficile de le dire, après un simple examen visuel. Comme le câble avait fonctionné sans perturbation jusqu'au court-circuit, on peut admettre qu'ayant supporté les conditions de l'exploitation depuis plus de 10 ans de service, il aurait fort probablement été encore capable de le faire à l'avenir.

Dans les nouvelles constructions, le conducteur en cuivre sera entouré d'un écran formé de polyéthylène semi-conducteur, ce qui exclut pratiquement toute ionisation entre conducteur et isolation.

Les boîtes d'extrémité sans porcelaine, fabriquées par l'une des câbleries, n'étaient conformes au début ni aux prescriptions de l'ASE quant à la tension de choc à supporter, ni aux exigences de l'exploitation. Par suite de surtensions d'orage, de pluie et d'humidité, nombre de défauts se produisaient, qui avaient pour conséquence la plupart du temps des pannes de courant contrariantes. Nous avons fait examiner deux de ces boîtes d'extrémité pour montage extérieur, sur la base des prescriptions de l'ASE ; en voici le résultat :

a) Essai de tension à 50 Hz durant 20 minutes à $2,5 \times 9,2 \text{ kV} = 23 \text{ kV}$. Le câble avec ses deux extrémités a supporté l'essai avec succès. Mais des décharges lumineuses au déflecteur étaient déjà visibles à la lumière du jour.

b) Essai de tension à 50 Hz durant une minute à 64 kV (correspondant au degré d'isolation I de la série à 20 kV).

Le câble avec ses deux extrémités a supporté cette tension. Mais il y a eu de très fortes décharges par aigrettes.

Détermination de la tension de contournement, à sec :

Le câble a été percé à 76 kV, au moment précis où le contournement se produisait à l'une des extrémités.

Détermination de la tension de contournement, le câble étant mouillé :

L'une des extrémités du câble fut exposée à une pluie de 3000 Ω/cm .

Ces conditions étaient un peu trop sévères. A titre de comparaison, les prescriptions de l'ASE pour une tête de câble identique sont :

pluie de 3000 Ω/cm contournement à 58 kV
pluie de 10000 Ω/cm contournement à 67 kV

Lors de l'essai, les décharges par aigrettes apparurent déjà à 23 kV. A 50 kV environ la bande isolante commence à brûler, déjà quelques secondes après la mise sous tension du câble.

La tension de 58 kV prévue par les prescriptions de l'ASE n'a pas pu être appliquée, parce que le courant de fuite était si grand qu'il déclenchait l'appareillage d'essai.

Essai au choc d'une extrémité du câble :

Tension de choc mesurée : 140 kV positive
190 kV négative

L'extrémité du câble a donc subi l'épreuve avec succès.

Conclusion

La tête du câble a subi avec succès les essais prévus par l'ASE, ce qui n'empêche pas qu'elle risque d'avoir une durée de vie écourtée par les décharges d'effluves et d'aigrettes.

Entre-temps on a amélioré les boîtes d'extrémité et il ne se produit plus de contournements aux lignes d'amenée.

Au début, on versait de l'araldite dans les boîtes d'extrémité en porcelaine. Fabriquées au laboratoire, ces boîtes correspondaient aux prescriptions de l'ASE quant à la coordination de l'isolation sur les lignes aériennes. Mais au bout de peu de temps, les boîtes d'extrémité montées en plein air sur les câbles se détérioraient complètement parce que l'araldite ne formait pas avec la porcelaine un corps monolithique et que l'humidité y pénétrait, d'où courants de fuite et finalement courts-circuits à la terre, et pannes de courant. Depuis lors, les boîtes d'extrémité en porcelaine sont remplies de masse à câble et ces défauts ont disparu.

Les câbles 16 kV isolés au polyéthylène furent avec le temps équipés de parasurtensions à leur jonction avec les lignes

aériennes. Dans toutes les stations de transformation des parasurtensions sont désormais montés. Après la construction sur les lignes aériennes de ces dispositifs de protection contre les surtensions, les défauts des câbles au polyéthylène ont disparu.

Il faut espérer que la recherche se poursuivra aussi dans le domaine de l'utilisation du polyéthylène comme diélectrique dans les câbles à haute tension. Deux facteurs semblent devoir y contribuer essentiellement, à savoir :

- Les avantages économiques de ces câbles, tant pour le fabricant que pour l'utilisateur.
- L'amélioration continue de la qualité des matières premières du polyéthylène.

Le problème de la dangereuse migration de la masse dans les câbles isolés au papier imprégné ne se pose plus pour les câbles à isolation plastique.

Adresse de l'auteur :

E. Wernli, Veronikaweg 6, 5000 Aarau.

La consommation d'énergie électrique pour les usages industriels en Suisse pendant l'année hydrographique 1966/67

Communiqué par l'Office fédéral de l'économie énergétique, Berne

519.24:621.31:338.45(494)«1966/67»

Après quelques remarques préliminaires sous chiffre 1, la consommation pour usages industriels est distribuée selon le schéma de la statistique suisse de l'industrie sous chiffre 2 et elle est comparée à celles de pays européens sous chiffre 3.

1. Remarques préliminaires

La statistique suisse de l'énergie électrique dressée et publiée mensuellement comprend, outre les pertes, l'énergie pour le pompage d'accumulation et les excédents utilisés dans les chaudières électriques, quatre catégories de consommation qui sont les usages domestiques, artisanat et agriculture, les transports par chemins de fer, les applications industrielles en général et les applications industrielles électrochimiques, électrométallurgiques et électrothermiques (voir tableau I). En fin d'année, l'ensemble de la consommation pour les usages industriels est ventilé entre les groupes d'industries. La présente publication a pour objet la ventilation de la consommation industrielle de l'année hydrographique allant du 1^{er} octobre 1966 au 30 septembre 1967.

La statistique de l'énergie électrique se fonde pour définir les consommateurs industriels et les répartir entre les divers groupes d'industries sur la statistique fédérale de l'industrie établie par le Bureau fédéral de statistique. C'est l'Office fédéral de l'industrie, des arts et métiers et du travail qui, en application de la loi fédérale du 13 mars 1964 sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce, décide quelles sont les entreprises à considérer comme exploitations industrielles et les répartit entre les divers groupes d'industries. Sont réputées exploitations industrielles au sens de la loi, les entreprises qui font usage d'installations fixes à caractère durable pour produire, transformer ou traiter des biens ou pour produire, transformer ou transporter de l'énergie, lorsque:

a) l'emploi de machines ou d'autres installations techniques ou bien l'exécution d'opérations en série déterminent la manière de travailler ou l'organisation du travail et que le personnel d'exploitation comprend, pour ces activités, au moins six travailleurs, ou lorsque

b) des procédés automatiques exercent une influence déterminante sur la manière de travailler ou l'organisation du travail, ou lorsque

c) la vie ou la santé des travailleurs sont exposées à des dangers particuliers.

Seul est soumis aux prescriptions spéciales propres aux exploitations industrielles, et est retenu pour établir le nombre d'ouvriers de la présente statistique, le personnel d'exploitation, sans le personnel de bureau commercial ou technique, ni les travailleurs occupés principalement à l'extérieur de l'exploitation. La statistique de l'énergie électrique se limite aux exploitations industrielles ayant plus de 20 ouvriers et plus de 60 000 kWh de consommation annuelle.

Tableau I

Catégories de consommation de la statistique mensuelle	Part à la consommation annuelle totale en 1966/67 (1 ^{er} oct. ... 30 sept.)
Usages domestiques, artisanat et agriculture	50 %
Transports par chemins de fer	8 %
<i>Industrie:</i>	
Applications industrielles en général	23 %
Applications industrielles électrochimiques, électrométallurgiques et électrothermiques	19 %
	} 42 %

Groupes économiques	Consommation d'énergie électrique			Nombre d'ouvriers ¹⁾	Consommation par ouvrier et par an
	Hiver (1 ^{er} octobre ... 31 mars)	Été (1 ^{er} avril ... 30 septembre)	Année (1 ^{er} octobre ... 30 septembre)		
	GWh (millions de kWh)				kWh
20 Fabrication de produits alimentaires et fourragers	195	180	375	28 300	13 300
21 Fabrication de spiritueux et d'autres boissons	27	34	61	3 800	16 100
22 Industrie du tabac	11	11	22	4 600	4 800
23 Industrie textile	319	297	616	50 200	12 300
24 Fabrication de vêtements, de lingerie et de chaussure; literie	40	34	74	34 300	2 200
25 Transformation du bois et du liège	51	46	97	16 700	5 800
27 Industrie du papier	418	402	820	15 700	52 200
28 Arts graphiques	59	56	115	27 700	4 200
30 Industrie du caoutchouc et des matières plastiques	49	45	94	7 400	12 700
31 Industrie chimique	786	1 058	1 844	33 500	55 000
32 Traitement du pétrole brut	47	51	98	370	264 900
33 Mise en oeuvre de la terre et de la pierre	385	418	803	20 400	39 400
34 Industrie métallurgique et artisans sur métaux	1 323	1 299	2 622	73 800	35 500
34a Fabrications et première transformation du fer et de l'acier	295	292	587	15 300	38 400
34b Fabrication et première transformation de métaux non ferreux	805	811	1 616	12 800	126 300
34c Usinage et travail des métaux	223	196	419	45 700	9 200
35 Machines, appareils, véhicules	474	407	881	153 000	5 800
36 Industrie horlogère	51	46	97	37 300	2 600
— Divers et différences	85	112	197	—	—
Total	4 320	4 496	8 816	507 070	17 000

¹⁾ Occupés en septembre 1966 dans les exploitations industrielles touchées par la statistique de l'énergie électrique

2. Consommation pour les usages industriels pendant l'année hydrographique 1966/67

Les fournitures totales d'énergie électrique à l'industrie, production des autoproducteurs industriels pour leurs propres besoins comprise, se sont élevées pendant l'année hydrographique 1966/67 à 8816 GWh ¹⁾, dont 4751 GWh pour les applications industrielles en général et 4065 GWh pour les applications électrochimiques, électrométallurgiques et électrothermiques. Le tableau II en donne la répartition par groupes d'industries.

Le schéma de répartition a été modifié par rapport à l'année précédente. En effet, l'ancienne nomenclature des groupes d'industries de la statistique des fabriques avait été conservée jusqu'à maintenant pour la statistique de l'énergie électrique. La première fois pour l'année hydrographique 1966/67, la nouvelle nomenclature des groupes économiques de la statistique de l'industrie, telle qu'elle a notamment été publiée dans le N° 7, de juillet 1967, de la « Vie économique », est utilisée pour la statistique de l'énergie électrique. Les groupes de peu d'importance pour cette dernière statistique, tels que 26, Voitures d'enfants, jouets et engins de sports, 29, Fabrication et mise en œuvre du cuir, 37, Bijouterie, gravure, frappe, 38, Instruments de musique, ont toutefois été réunis avec les groupes 10, 40 et 50 sous « Divers et différences ». Le groupe économique 34, Industrie métallurgique et artisans sur métaux, a été subdivisé en trois sous-groupes pour faire ressortir la consommation d'électricité pour la fabrication du fer et pour la fabrication de métaux non ferreux. Le sous-groupe 34 a, Fabrication et première transformation du fer et de l'acier, comprend les genres d'exploitations 3401 et 3402 de la statistique de l'industrie, le sous-groupe 34 b, Fabrication et première transformation de métaux non ferreux, les genres d'exploitations 3403 à 3408, et le sous-

groupe 34 c, Usinage et travail des métaux, enferme les genres d'exploitations 3411 à 3446.

La consommation d'énergie électrique pour les usages industriels a augmenté pendant l'année hydrographique 1966/67 de 3,9 % par rapport à l'année précédente soit, d'une part, de 6,7 % pour les applications industrielles en général et, d'autre part, de 0,8 % pour les applications électrochimiques, électrométallurgiques et électrothermiques. Par suite des modifications intervenues dans la répartition des exploitations entre les groupes de consommateurs, il faut renoncer pour cette fois à une comparaison groupe par groupe de la consommation de l'année avec celle de l'année précédente.

Du tableau III il ressort que les groupes 31, Industrie chimique, 34 b, Fabrication et première transformation de métaux non ferreux, 35, Machines, appareils et véhicules, 27, Industrie du papier et 33, Mise en œuvre de la pierre et de la terre, sont les plus importants secteurs de consommation d'énergie électrique et font à eux cinq 68 % de la consommation totale. Si l'on se réfère à la consommation spécifique par ouvrier, le classement se modifie quelque peu. En effet, viennent alors en tête les groupes 32, Traitement du pétrole brut, 34 b, Fabrication et première transformation de métaux non ferreux, 31, Industrie chimique, 27, Industrie du papier, 33, Mise en œuvre de la terre et de la pierre, 34 a, Fabrication et première transformation du fer et de l'acier, qui représentent ensemble 65 % de la consommation totale pour 19 % des ouvriers occupés. Les raffineries de pétrole ont une consommation spécifique élevée du fait de l'automatisation très poussée des processus de raffinage. Cependant, leur consommation spécifique est de plusieurs fois inférieure à celle des fabriques d'aluminium par exemple, qui, si elles faisaient l'objet d'un groupe économique distinct, indiqueraient des consommations spécifiques par ouvrier de l'ordre de 850 000 kWh et plus.

¹⁾ 1 GWh = 1 Gigawattheure = 1 million de kWh.

Parts des groupes économiques et des types d'applications dans la consommation totale des exploitations industrielles pour l'année hydrographique 1966/67

Tableau III

	Parts du semestre d'hiver	Parts du semestre d'été	Année hydrographique	Différence: hiver - été
en pour-cent de la consommation annuelle totale				
<i>A. Groupes économiques</i>				
20 Fabrication de produits alimentaires et fourragers	2,2	2,0	4,2	0,2
21 Fabrication de spiritueux et d'autres boissons	0,3	0,4	0,7	-0,1
22 Industrie du tabac	0,1	0,1	0,2	0
23 Industrie textile	3,6	3,4	7,0	0,2
24 Fabrication de vêtements, de lingerie et de chaussures; literie	0,5	0,4	0,9	0,1
25 Transformation du bois et du liège	0,6	0,5	1,1	0,1
27 Industrie du papier	4,7	4,6	9,3	0,1
28 Arts graphiques	0,6	0,6	1,2	0
30 Industrie du caoutchouc et des matières plastiques	0,6	0,5	1,1	0,1
31 Industrie chimique	8,9	12,0	20,9	-3,1
32 Traitement du pétrole brut	0,5	0,6	1,1	-0,1
33 Mise en œuvre de la terre et de la pierre	4,4	4,8	9,2	-0,4
34 Industrie métallurgique et artisans sur métaux	15,0	14,7	29,7	0,3
34a Fabrication et première transformation du fer et de l'acier	3,4	3,3	6,7	0,1
34b Fabrication et première transformation de métaux non ferreux	9,1	9,2	18,3	-0,1
34c Usinage et travail des métaux	2,5	2,2	4,7	0,3
35 Machines, appareils, véhicules	5,4	4,6	10,0	0,8
36 Industrie horlogère	0,6	0,5	1,1	0,1
— Divers et différences	1,0	1,3	2,3	-0,3
	49,0	51,0	100,0	-2,0
<i>B. Types d'applications</i>				
1 Applications industrielles en général	27,5	26,4	53,9	1,1
2 Electrochimie, électrometallurgie et électrothermie	21,5	24,6	46,1	-3,1
	49,0	51,0	100,0	-2,0

La consommation du semestre d'été des exploitations industrielles est encore quelque peu supérieure à celle du semestre d'hiver, essentiellement par suite d'une certaine souplesse d'adaptation de l'industrie chimique. Cependant, des considérations de régularité d'emploi de la main d'œuvre, d'utilisation rationnelle des capitaux investis priment de plus en plus sur le facteur coût de l'énergie électrique, si bien que l'écart entre la consommation d'été et la consommation d'hiver a diminué de plus de moitié en valeur absolue et de plus des deux tiers en valeur relative seulement au cours des sept dernières années.

3. Comparaison de la consommation industrielle suisse avec celle de pays européens pour l'année 1966

La statistique de la consommation industrielle présentée sous chiffre 2 ne se recouvre pas entièrement avec celle que publie tant la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies, à Genève, que l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques, à Paris. Cependant, les relevés statistiques ont été subdivisés de manière à pouvoir, par des regroupements appropriés, satisfaire aux exigences des deux types de statistiques. La comparaison se ré-

Consommation industrielle d'énergie électrique par habitant dans quelques pays d'Europe pendant l'année 1966

Tableau IV

Groupes d'industries	Norvège	Luxembourg	Suède	Allemagne occidentale	Belgique	Suisse ¹⁾	Grande Bretagne	France	Autriche	Pays-Bas	Italie	Danemark	Portugal	Pour les 13 pays
kWh par habitant et par année														
1. Extraction de charbon	—	—	1	180	153	—	105	61	19	47	1	—	2	79
2. Autres industries extractives	1122	161	164	44	15	7	23	28	62	7	19	—	5	46
3. Industries des denrées alimentaires et des stimulants . . . . .	..	65	106	62	80	75	81	52	58	86	49	74	21	63
4. Industries des textiles, des cuirs et des vêtements . . . . .	..	30	51	70	105	114	91	68	60	54	86	30	53	75
5. Industries du bois, du papier et impression	682	6	1236	116	88	170	108	102	184	114	76	83	30	142
6. Industries chimique et du caoutchouc	1959	278	492	556	350	325	301	391	202	411	290	111	111	393
7. Industries du verre, de la céramique et des matériaux de construction . . . . .	..	93	136	105	94	137	76	80	107	44	101	90	40	89
8. Sidérurgie-métallurgie du fer et de l'acier	3438	4271	592	272	344	100	224	202	204	91	183	149	30	239
9. Métaux non ferreux			137	111	90	269	46	187	228	38	65		4	128
10. Constructions mécaniques et électriques . . . . .	..	60	382	233	127	217	283	127	93	111	117	15	179	
11. Industries manufacturières diverses . . . . .	..	—	20	20	44	29	92	20	29	172	14	22	36	40
Total	7201	4964	3317	1769	1490	1443	1430	1318	1246	1175	1001	559	347	1473

¹⁾ du 1^{er} octobre 1965 au 30 septembre 1966

Groupes d'industries	Alle- magne occiden- tale	Grande- Bre- tagne	France	Italie	Nor- vège	Suède	Pays- Bas	Bel- gique	Au- triche	Suisse 1)	Portu- gal	Dane- mark	Luxem- bourg
GWh (millions de kWh)													
1. Extraction de charbon	10714	5 770	3 020	65	—	5	584	1 453	140	—	17	—	—
2. Autres industries extractives	2652	1 276	1 405	999	4 210	1 277	93	140	451	40	47	—	54
3. Industries des denrées alimen- taires et des stimulants	3 701	4 466	2 565	2 521	..	826	1 075	766	423	438	189	354	22
4. Industries des textiles, des cuirs et des vêtements	4 179	5 020	3 377	4 454	..	398	670	997	437	670	491	146	10
5. Industries du bois, du papier et impression	6 948	5 919	5 054	3 928	2 560	9 649	1 414	835	1 341	1 002	278	400	2
6. Industries chimique et du caou- chouc	33 177	16 558	19 327	15 064	7 350	3 838	5 120	3 330	1 471	1 908	1 023	530	93
7. Industries du verre, de la céra- mique et des matériaux de cons- truction	6 270	4 174	3 969	5 231	..	1 062	545	899	782	803	365	434	31
8. Sidérurgie-métallurgie du fer et de l'acier	16 214	12 281	9 976	9 475	} 12 900	4 618	1 134	3 277	1 486	586	276	} 714	1 431
9. Métaux non ferreux	6 634	2 507	9 254	3 391		1 071	475	854	1 665	1 584	36		—
10. Constructions mécaniques élec- triques	13 902	15 564	6 287	6 060	..	2 979	1 383	1 206	680	1 278	138	—	20
11. Industries manufacturières di- verses	1 202	5 032	952	739	..	167	2 142	436	207	176	340	102	—
Total	105 593	78 567	65 186	51 927	27 020	25 890	14 635	14 193	9 083	8 485	3 200	2 680	1 663

1) du 1^{er} octobre 1965 au 30 septembre 1966

fère à l'année 1966, car les données concernant l'année 1967 ne sont pas encore disponibles.

Les tableaux IV et V ont pour objet les consommations moyennes par habitant et les consommations totales par groupes d'industries dans les pays de la Communauté économique européenne et les pays de l'Association européenne de libre-échange. Les pays sont, dans les deux tableaux, ordonnés selon les montants totaux.

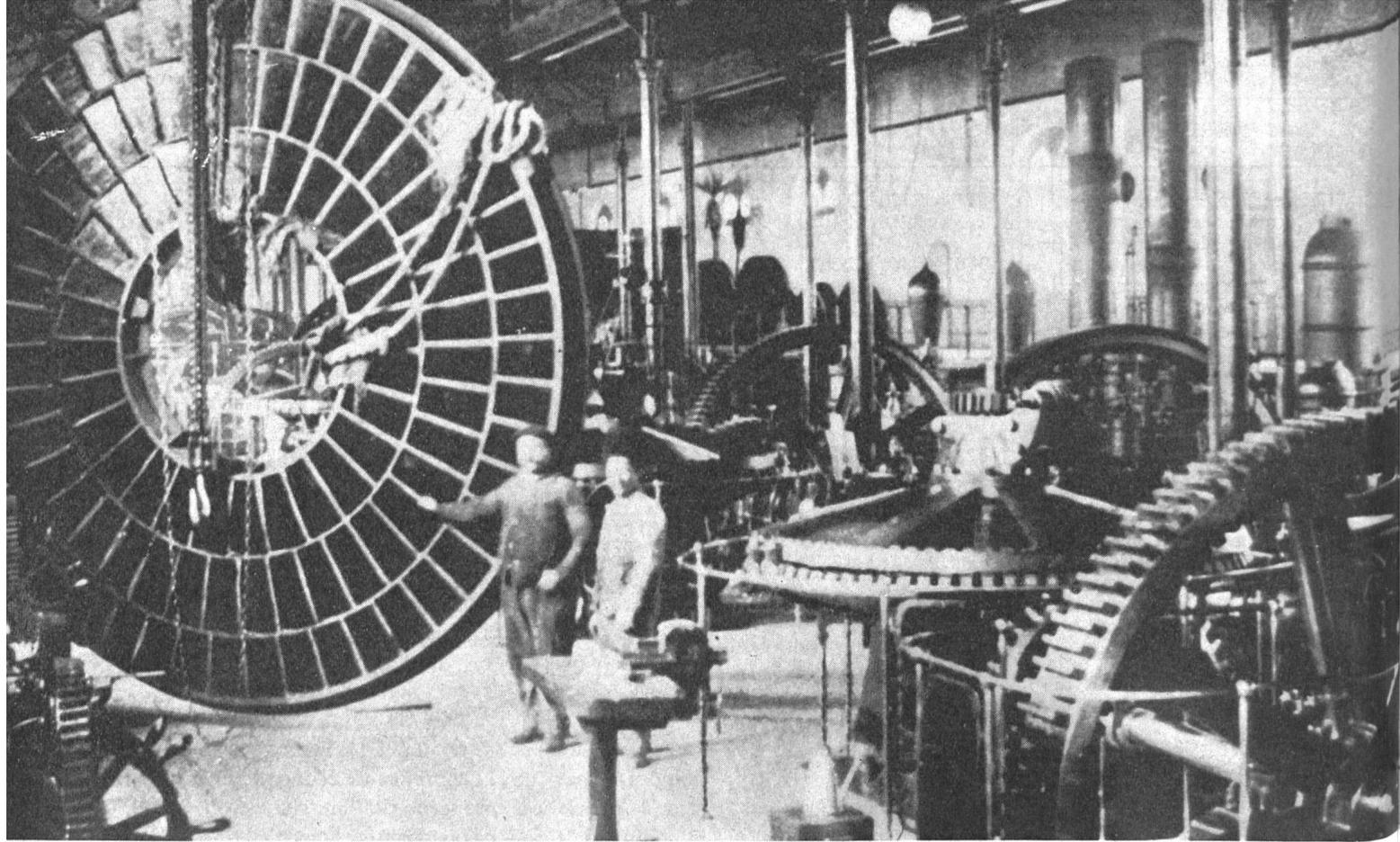
En moyenne par habitant, la consommation suisse d'énergie électrique pour les usages industriels est approximativement égale à celle de l'ensemble des 13 pays, ainsi qu'il ressort du tableau IV. Elle vient au 6^e rang, après celle de la Norvège, du Luxembourg, de la Suède, de l'Allemagne et de la Belgique et ne précède que de très peu celle de la Grande-Bretagne. Si l'on considère les groupes d'industries un à un, on constate que la consommation suisse par habitant dépasse fortement la moyenne de l'ensemble des 13 pays pour les groupes 9, Métaux non ferreux, 7, Industries du verre, de la céramique et des matériaux de construction, 4, Industries des textiles, des cuirs et des vêtements. Si les utilisations des groupes 3, Industries des denrées alimentaires et stimulants, 5, Industries du bois, du papier et impression, 10, Constructions mécaniques et électriques, restent encore supérieures à la moyenne, en revanche les consommations des groupes 6, Industries chimique et du caoutchouc, et surtout 8, Sidérurgie-métallurgie du fer et de l'acier, lui sont inférieures. Les groupes 1 et 2, Extraction du charbon et autres industries extractives, sont pratiquement sans objet pour la Suisse.

Dans la mesure où la consommation d'énergie électrique est proportionnelle à l'importance des groupes d'industries, on peut déduire du tableau V l'étendue prise par les divers groupes d'industries dans chacun des pays. Il faut toutefois se rappeler qu'à production industrielle identique, la consommation d'énergie électrique varie selon le procédé industriel employé et les agents énergétiques utilisés concurremment. De plus, les industries réunies dans un même groupe statistique peuvent avoir des consommations spécifiques très différentes.

La population suisse fait 2,1 % de l'ensemble de la population des 13 pays de la Communauté économique européenne et de l'Association européenne de libre-change ou 6,3 % de la population des 7 pays constituant cette dernière association. La part suisse dans la consommation d'énergie électrique de cet ensemble de pays est, pour chaque groupe d'industries, la suivante (les chiffres entre parenthèses se réfèrent à la seule Association européenne de libre-échange):

	en pour-cent	
<i>Population</i>	2,1	(6,3)
1. et 2. Extraction de charbon et autres industries extractives	0,1	(0,3)
8. Sidérurgie-métallurgie du fer et de l'acier	0,9	(2,4)
6. Industries chimique et du caoutchouc	1,8	(5,8)
3. Industries des denrées alimentaires et des stimulants	2,5	(6,5)
5. Industries du bois, du papier et impression	2,5	(4,7)
10. Constructions mécaniques et électriques	2,6	(6,1)
4. Industries des textiles, des cuirs et des vêtements	3,2	(9,4)
7. Industries du verre, de la céramique et des matériaux de construction	3,3	(10,5)
9. Métaux non ferreux	4,5	(10,7)

Si la part de la Suisse dans l'un ou l'autre des ensembles de pays restait proportionnellement la même, le rapport entre les taux devrait être identique pour tous les groupes d'industries, soit 1:3 environ. On constate des exceptions qui sont essentiellement le groupe 5, Industries du bois et du papier, à cause de la prépondérance des productions norvégienne et surtout suédoise dans ce secteur, et le groupe 9, Métaux non ferreux, à cause de la forte production norvégienne. Le poids de la Grande-Bretagne, qui fait la moitié de la population des pays de l'association de libre-échange et produit relativement peu de métaux non ferreux, ne suffit pas à rétablir l'équilibre.

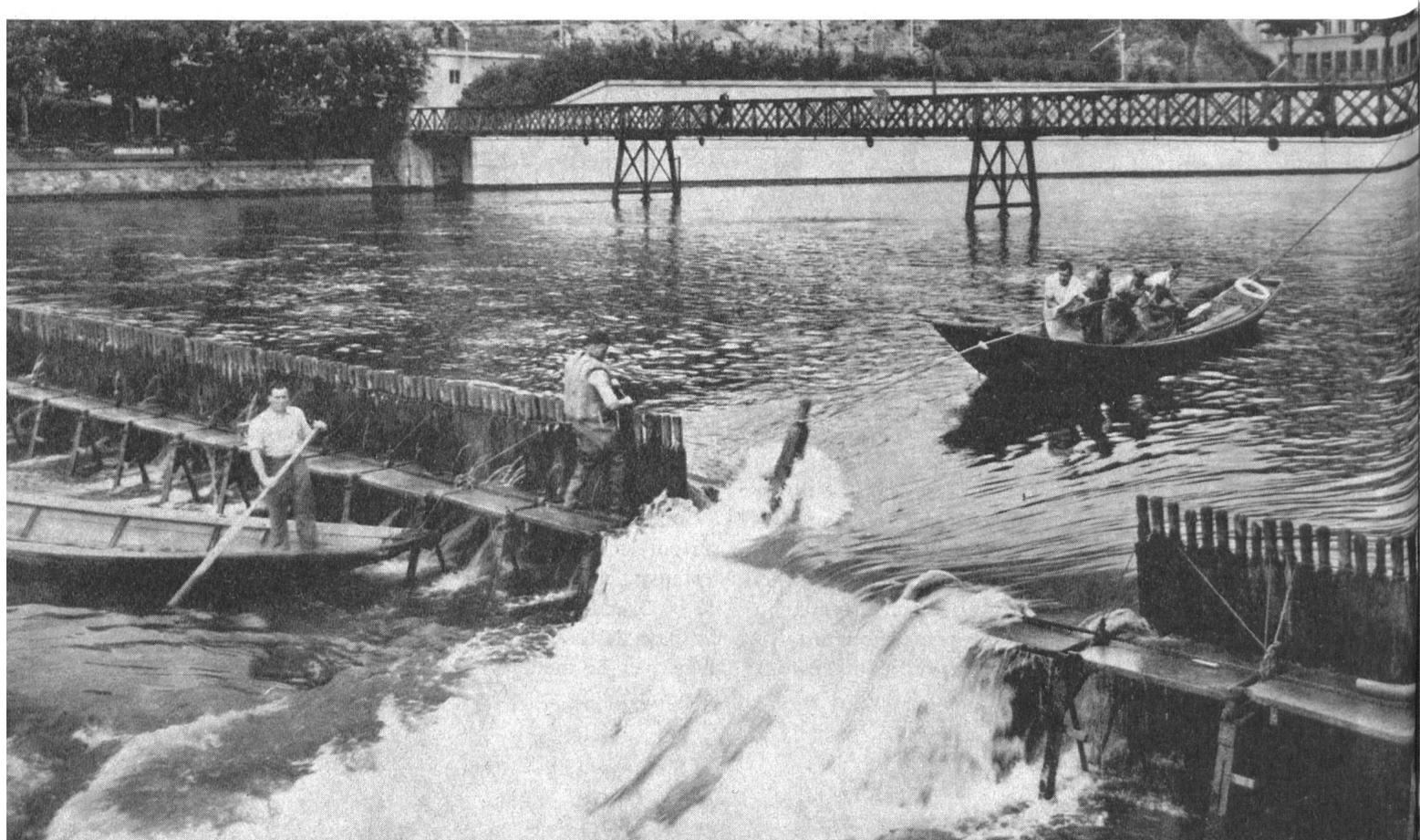


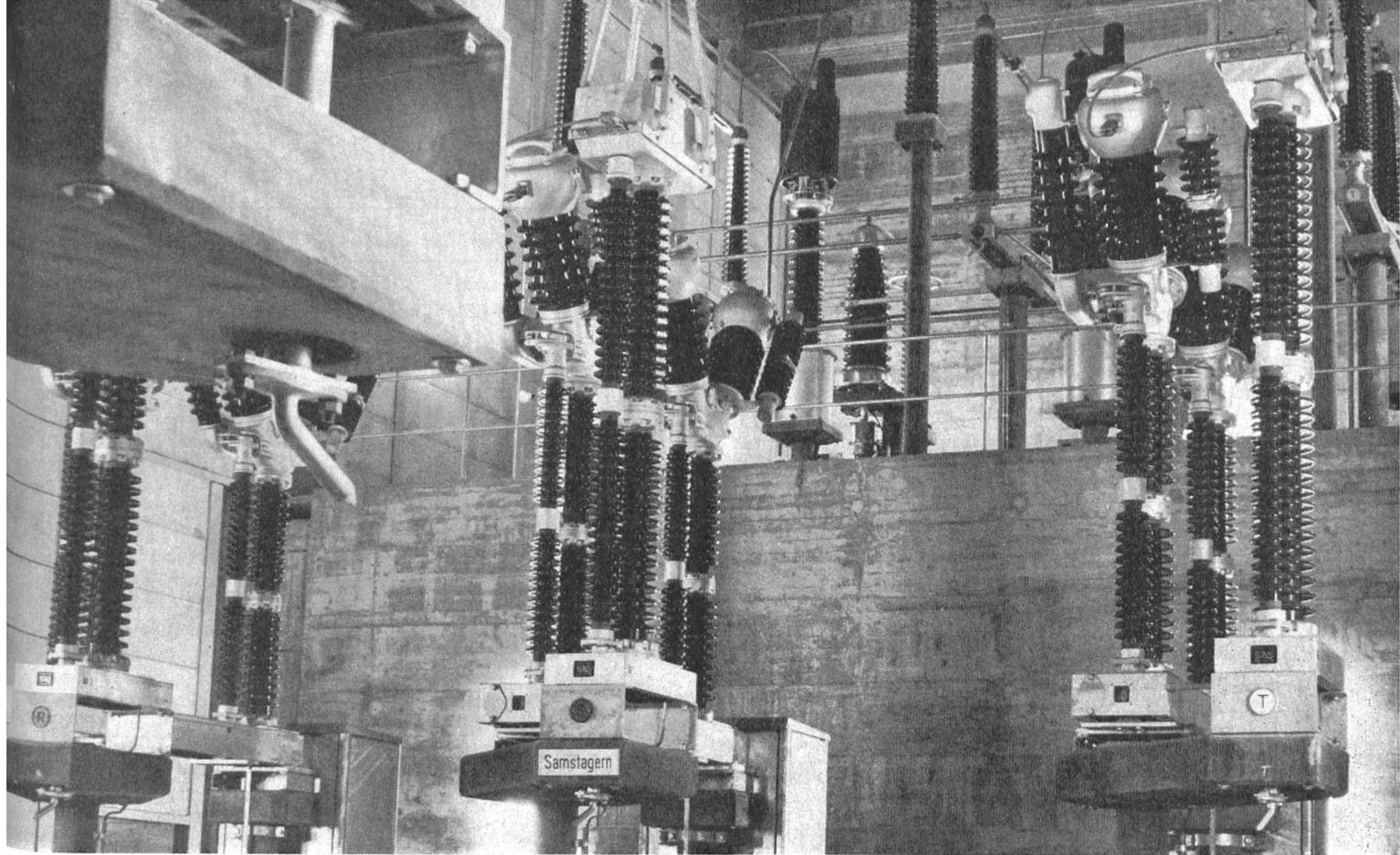
Salle des machines de l'ancienne centrale de Letten

Les 75 ans

Le Service de l'électricité de la Ville de Zurich (EWZ) fête cette année son 75^e anniversaire. L'Union des Centrales Suisses d'électricité (UCS) le félicite à cette occasion et présente ses meilleurs vœux pour l'avenir à l'entreprise, sa direction et ses collaborateurs.

Barrage d'autrefois sur la Limmat



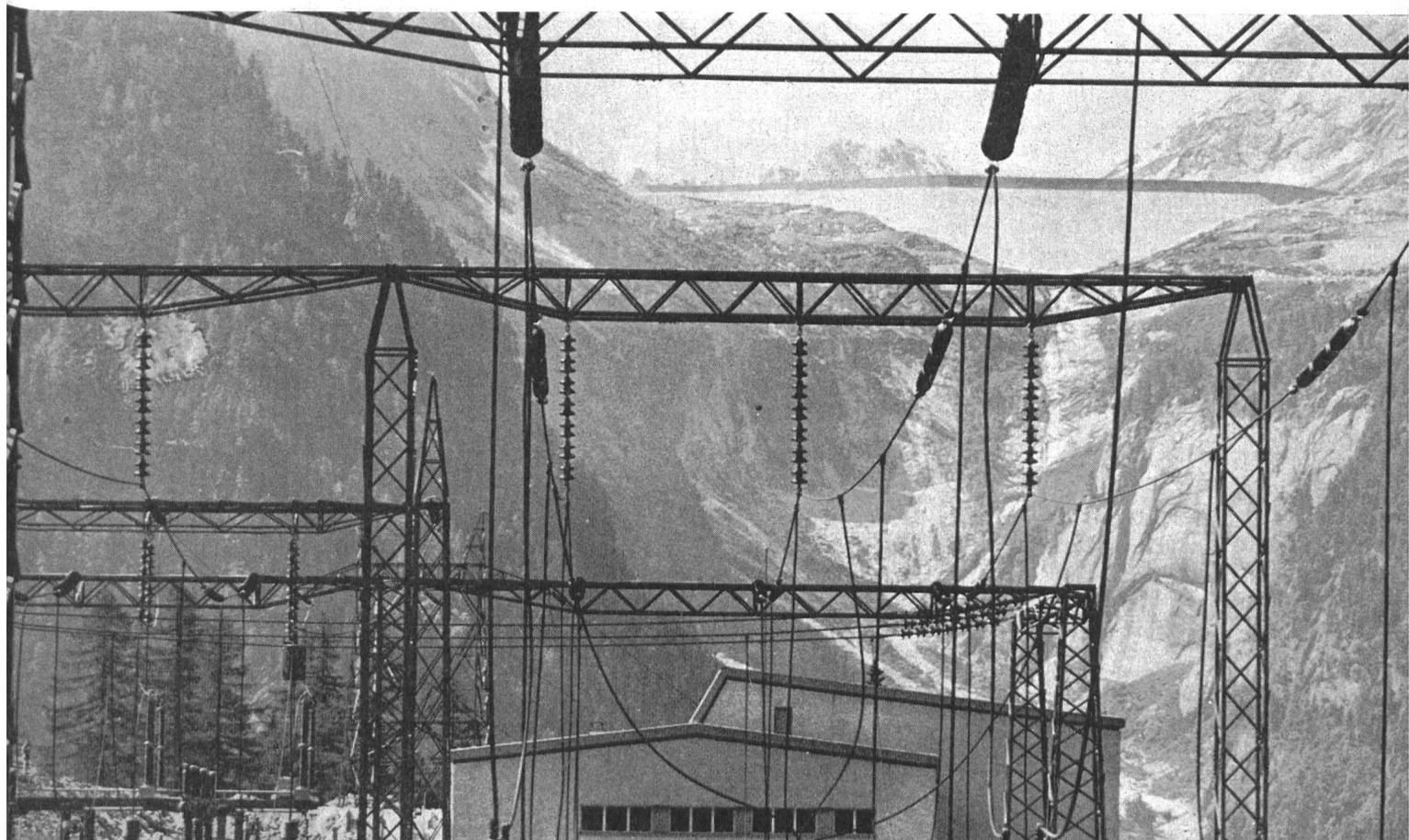


La plus récente des sous-stations, Frohalp

de l'EWZ

À son jubilé, le Service de l'électricité de la Ville de Zurich a inauguré à la mairie de ville une exposition qui reflète le développement intéressant de l'approvisionnement en électricité de la plus grande ville de Suisse. Cette exposition, dont sont nos illustrations, durera jusqu'au 27 septembre 1968.

Centrale de Löbbia avec barrage d'Albigna



Communications de nature économique

Prix moyens sans garantie

le 20 du mois

Métaux

		juin	Mois précédent	Année précédente
Cuivre (fils, barres) ¹⁾	fr./100 kg	514.—	477.—	435.—
Etain (Banka, Billiton) ²⁾	fr./100 kg	1353.—	1369.—	1475.—
Plomb ¹⁾	fr./100 kg	111.—	112.—	108.—
Zinc ¹⁾	fr./100 kg	125.—	125.—	125.—
Aluminium en lingot pour conducteurs électriques 99,5 % ³⁾	fr./100 kg	230.—	230.—	230.—
Fer barres, profilés ⁴⁾	fr./100 kg	58.80	58.80	58.80
Tôles de 5 mm ⁴⁾	fr./100 kg	48.—	48.—	48.—

¹⁾ Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 50 t.
²⁾ Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 5 t.
³⁾ Prix par 100 kg, franco gare destinataire, par quantité de 10 t et plus.
⁴⁾ Prix franco frontière, marchandise dédouanée, par quantité d'au moins 20 t.

Métaux

		juillet	Mois précédent	Année précédente
Cuivre (fils, barres) ¹⁾	fr./100 kg	450.—	514.—	448.—
Etain (Banka, Billiton) ²⁾	fr./100 kg	1350.—	1353.—	1477.—
Plomb ¹⁾	fr./100 kg	119.—	111.—	111.—
Zinc ¹⁾	fr./100 kg	127.—	125.—	125.—
Aluminium en lingot pour conducteurs électriques 99,5 % ³⁾	fr./100 kg	230.—	230.—	230.—
Fer barres, profilés ⁴⁾	fr./100 kg	58.80	58.80	58.80
Tôles de 5 mm ⁴⁾	fr./100 kg	48.—	48.—	48.—

¹⁾ Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 50 t.
²⁾ Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 5 t.
³⁾ Prix par 100 kg, franco gare destinataire, par quantité de 10 t et plus.
⁴⁾ Prix franco frontière, marchandise dédouanée, par quantité d'au moins 20 t.

Combustibles et carburants liquides

		juin	Mois précédent	Année précédente
Benzine pure/Benzine éthylée	fr./100 l	51.95 ¹⁾	51.95 ¹⁾	48.40 ¹⁾
Carburant Diesel pour véhicules à moteur	fr./100 kg	62.20 ²⁾	62.— ²⁾	58.25 ²⁾
Huile combustible légère	fr./100 kg	14.10 ²⁾	13.40 ²⁾	13.30 ²⁾
Huile combustible moyenne (III)	fr./100 kg	10.90 ²⁾	10.50 ²⁾	8.90 ²⁾
Huile combustible lourde (V)	fr./100 kg	8.20 ²⁾	7.90 ²⁾	7.50 ²⁾

¹⁾ Prix citerne pour consommateurs, franco frontière suisse Bâle, dédouané, ICHA compris, par commande d'au moins 1 wagon-citerne d'environ 15 t.
²⁾ Prix pour consommateurs franco Bâle-port, dédouané. ICHA non compris.

Combustibles et carburants liquides

		juillet	Mois précédent	Année précédente
Benzine pure/Benzine éthylée	fr./100 l	51.05 ¹⁾	51.95 ¹⁾	51.95 ¹⁾
Carburant Diesel pour véhicules à moteur	fr./100 kg	62.90 ²⁾	62.20 ²⁾	60.25 ²⁾
Huile combustible légère	fr./100 kg	13.60 ²⁾	14.10 ²⁾	15.30 ²⁾
Huile combustible moyenne (III)	fr./100 kg	10.60 ²⁾	10.90 ²⁾	11.40 ²⁾
Huile combustible lourde (V)	fr./100 kg	7.90 ²⁾	8.20 ²⁾	10.— ²⁾

¹⁾ Prix citerne pour consommateurs, franco frontière suisse Bâle, dédouané, ICHA compris, par commande d'au moins 1 wagon-citerne d'environ 15 t.
²⁾ Prix pour consommateurs franco Bâle-port, dédouané. ICHA non compris.

Charbons

		juin	Mois précédent	Année précédente
Coke de la Ruhr I/II ¹⁾	fr./t	128.—	126.—	126.—
Charbons gras belges pour l'industrie				
Noix II ¹⁾	fr./t	84.50	84.50	94.50
Noix III ¹⁾	fr./t	80.50	80.50	90.50
Fines flambantes de la Sarre ¹⁾	fr./t	84.50	84.50	85.50
Coke français, nord (franco Genève)	fr./t	145.40	145.40	145.40
Coke français, Loire (franco Genève)	fr./t	132.40	132.40	132.40
Charbons flambants de la Lorraine				
Noix I/II ¹⁾	fr./t	94.50	94.50	95.50
Noix III ¹⁾	fr./t	94.50	94.50	93.50
Noix IV ¹⁾	fr./t	90.50	90.50	90.50
Charbons flambants de la Pologne				
Noix III/IV ²⁾	fr./t	70.—	70.—	70.—
Fines flambantes ²⁾	fr./t	64.—	64.—	64.—

¹⁾ Tous les prix s'entendent franco Bâle, marchandise dédouanée, pour livraison par wagons entiers à l'industrie.
²⁾ Prix moyens contractés à l'industrie, wagon franco Bâle.

Charbons

		juillet	Mois précédent	Année précédente
Coke de la Ruhr I/II ¹⁾	fr./t	128.—	126.—	126.—
Charbons gras belges pour l'industrie				
Noix II ¹⁾	fr./t	84.50	84.50	84.50
Noix III ¹⁾	fr./t	80.50	80.50	80.50
Fines flambantes de la Sarre ¹⁾	fr./t	84.50	84.50	84.50
Coke français, nord (franco Genève)	fr./t	145.40	145.40	145.40
Coke français, Loire (franco Genève)	fr./t	132.40	132.40	132.40
Charbons flambants de la Lorraine				
Noix I/II ¹⁾	fr./t	94.50	94.50	94.50
Noix III ¹⁾	fr./t	94.50	94.50	94.50
Noix IV ¹⁾	fr./t	90.50	90.50	90.50
Charbons flambants de la Pologne				
Noix III/IV ²⁾	fr./t	70.—	70.—	70.—
Fines flambantes ²⁾	fr./t	64.—	64.—	64.—

¹⁾ Tous les prix s'entendent franco Bâle, marchandise dédouanée, pour livraison par wagons entiers à l'industrie.
²⁾ Prix moyens contractés à l'industrie, wagon franco Bâle.

Rédaction des «Pages de FUCS»: Secrétariat de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Bahnhofplatz 3, Zurich 1; adresse postale: Case postale 8023 Zurich; téléphone (051) 27 51 91; compte de chèques postaux 80 - 4355; adresse télégraphique: Electrunion Zurich, **Rédacteur:** Ch. Morel, ingénieur.

Des tirés à part de ces pages sont en vente au secrétariat de l'UCS, au numéro ou à l'abonnement.