

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber:	Association suisse des électriciens
Band:	46 (1955)
Heft:	17
 Artikel:	Essais de court-circuit avec refermeture rapide sur la ligne à 220 kV Mettlen-Lavorgo
Autor:	Schär, F. / Baltensperger, P.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1058164

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

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

Essais de court-circuit avec refermeture rapide sur la ligne à 220 kV Mettlen-Lavorgo

Par F. Schär, Olten, et P. Baltensperger, Baden

L'efficacité des dispositifs de protection et des disjoncteurs pour refermeture rapide de la ligne à 220 kV Mettlen-Lavorgo a été contrôlée, avant mise en service, par des essais de court-circuit par arc. Le neutre du réseau est à la terre. Les essais ont montré le fonctionnement entièrement correct des relais de distance, des disjoncteurs rapides à air comprimé et des appareils de réenclenchement. Après la coupure de la phase affectée l'arc résiduel s'est éteint au bout de 2 périodes au maximum. Pour des temps morts supérieurs à 0,22 s lors de déclenchements triphasés et de 0,45 s lors de déclenchements monophasés, il n'y eut jamais de réallumage et le transport de l'énergie ne fut pas interrompu. Il faut signaler spécialement la sûreté de fonctionnement et la précision remarquables des disjoncteurs, des relais de distance et des appareils de réenclenchement à tous les essais.

Vor der endgültigen Übergabe an den Betrieb wurden die zum Schutze der 100 km langen 220-kV-Leitung Mettlen-Lavorgo mit geerdetem Nullpunkt eingebauten Schutzeinrichtungen und Schalter für Schnellwiedereinschalten durch Lichtbogenkurzschlüsse im normalen Betrieb erprobt. Die hier beschriebenen Versuche haben das einwandfreie Arbeiten der beteiligten Schnelldistanzrelais mit Druckluftschaltern und zugehöriger Wiedereinschaltapparatur erwiesen. Der nach dem einpoligen Abschalten des Erdschlusses noch brennende Restlichtbogen erlosch in höchstens 2 Perioden. Bei Pausenzeiten von mehr als 0,22 s bei dreipoligen und von 0,45 s bei einpoligem Abschalten fand nie Rückzünden statt, und die Energieübertragung blieb aufrechterhalten. Besonders bemerkenswert ist auch die Zuverlässigkeit und Präzision, mit der die Druckluftschaltern, Schnelldistanzrelais und Wiedereinschaltapparate bei allen Versuchen arbeiteten.

Introduction

Comme le montre la fig. 1, la ligne à 220 kV Mettlen-Lavorgo est une des plus importantes du réseau à haute tension de l'Aar et Tessin, S. A. d'Electricité, Olten («Atel»). Il était donc naturel d'équiper cette transversale des Alpes, longue de 100 km, de l'appareillage de protection le plus moderne, c'est-à-dire de relais de distance couplés par un canal H. F. et de disjoncteurs à air comprimé avec refermeture automatique rapide.

Toute cette installation a été soumise à des essais détaillés avant d'être livrée à l'exploitation. Les premiers essais, effectués sans court-circuit, eurent seulement pour but le contrôle oscillographique de tous les ordres de commande et des temps morts des disjoncteurs. Puis on provoqua, près d'Erstfeld-Leitschach, environ au milieu de la ligne, un arc entre différentes phases et le sol (le neutre du réseau est à la terre) ainsi qu'entre 2 phases isolées. Dans chaque cas, les courants et les tensions furent enregistrés par des oscilloscopes aux deux extrémités de la ligne ainsi qu'au lieu de défaut. Grâce aux oscillogrammes ainsi obtenus, on put suivre et vérifier avec précision le fonctionnement de l'installation. On a profité de ces essais pour voir si l'arc résiduel au point de court-circuit s'éteint de lui-même en un temps assez bref pour permettre la refermeture rapide exigée pour la stabilité du réseau. Comme on le sait, cet arc résiduel peut, lors de la mise à la terre d'une phase, être entretenu grâce à la capacité entre la phase défectueuse et les deux autres encore sous tension.

Le canal haute fréquence pouvant être influencé défavorablement par une ligne en parallèle, surtout en cas de défauts, on a fait également des essais de court-circuit sur la ligne à 150 kV Airolo—Mettlen, qui emprunte sur quelque 52 km les mêmes pylônes que la ligne à 220 kV. Le canal H. F. de la ligne du Lucmanier ne devait pas être influencé, c'est-à-dire envoyer un ordre quelconque vers le nord ou vers le sud.

On a, par la même occasion, mesuré à l'endroit du court-circuit la répartition du potentiel dans le

sol. Quant à la stabilité du réseau elle n'a pas été sollicitée, les essais ayant été effectués à faible charge.

Les défauts, tant les courts-circuits à la terre que les défauts entre phases, ont tous été effectués au pylône n° 9411 près d'Erstfeld-Leitschach, sur les tronçons de ligne Lavorgo—Mettlen ou Airolo—Mettlen, ce pylône étant commun aux deux lignes.

Pour les essais, 2 câbles, connectés à 2 phases de la ligne étaient amenés à proximité du sol et amarrés à 2 colonnes d'isolateur, comme les montrent les figures 2 et 3. Au pied de chacune de ces colonnes, elles-mêmes solidaires d'un socle isolé, était placé un «canon à air comprimé». Il servait à provoquer le défaut en projetant un filin sur une plaque fixée au sommet de l'isolateur sur une corne, elle-même reliée à l'une des phases. Lors des courts-circuits biphasés à la terre, l'intervalle de temps entre l'allumage des deux arcs a été au maximum de 1 cs¹⁾ ce qui est nécessaire pour réaliser les conditions qui se produisent lors d'un défaut dû à un coup de foudre.

Pour les courts-circuits biphasés isolés, un seul «canon à air comprimé», monté horizontalement sur l'une des colonnes, était employé.

On avait installé à Erstfeld, lieu des défauts, deux oscilloscopes, l'un à boucles, l'autre à rayons cathodiques. L'enregistrement à plus grande échelle des courants et tensions de l'arc résiduel a été réalisé en utilisant des limiteurs d'amplitude.

Principe du fonctionnement de l'équipement de protection

Ce fonctionnement est montré à partir des fig. 4 et 5.

Le premier échelon de chaque relais de distance protégeant environ 85 % de la ligne — en d'autres termes, tout défaut survenant sur ce tronçon étant décelé au bout d'environ 0,1 s — il s'en suit que tous les points de la ligne se trouvent dans la zone couverte par le premier échelon de l'un au moins

¹⁾ 1 cs = 1 centième de seconde.

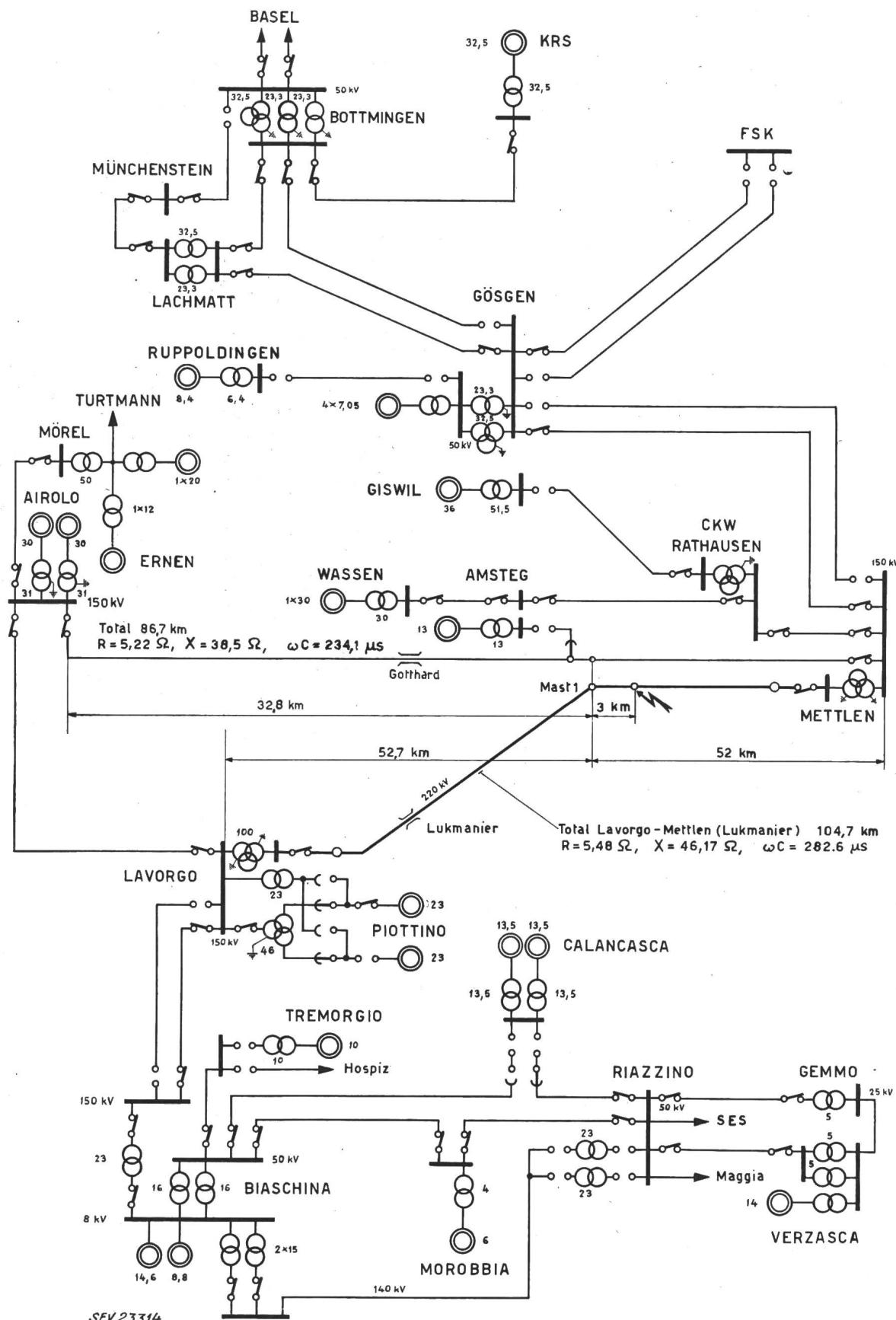


Fig. 1
Schéma du réseau à haute tension de l'Atel pendant les essais
f Lieu du court-circuit

Les chiffres à côté des générateurs et des transformateurs donnent la puissance nominale en MVA.

des deux relais. Si le court-circuit a lieu dans les premiers 15 % de la ligne, le relais placé à cette extrémité donne l'ordre de déclenchement après 0,1 s et le transmet par le canal H. F. au relais de l'autre extrémité, qui agit à son tour comme si,

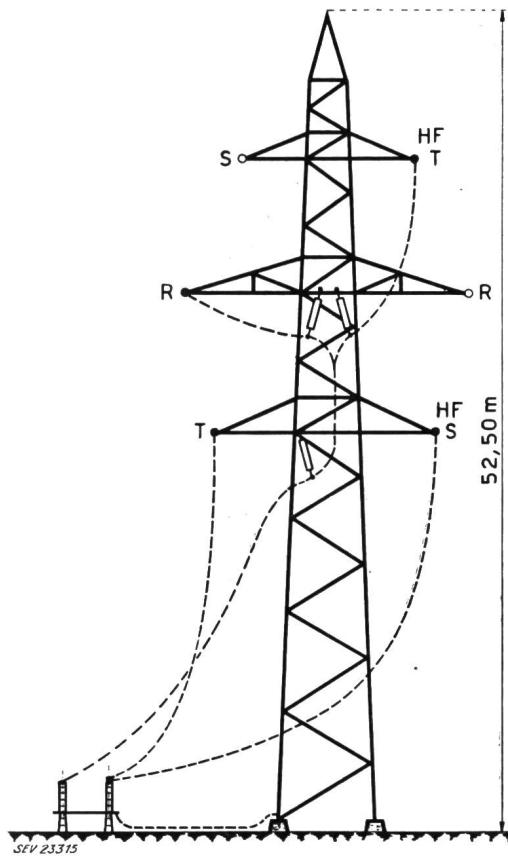


Fig. 2

Branchemet du dispositif pour courts-circuits au pylone près d'Erstfeld—Leitschach

Moitié droite du pylone: ligne à 220 kV (Lucmanier)
Moitié gauche: ligne à 150 kV (Gothard)

Les conducteurs désignés par H. F. servent au transport du signal H. F.

pour lui, le défaut était au premier échelon. Les courts-circuits bi- ou triphasés provoquent le déclenchement des 3 phases des disjoncteurs avec refermeture automatique au bout d'environ 0,3 s. Si à ce moment-là le défaut a disparu, les disjoncteurs restent enclenchés; si au contraire le défaut persiste, on a un deuxième déclenchement, définitif cette fois.

Lorsque la mise à la terre n'a lieu que sur une phase, seul le pôle intéressé s'ouvre à chaque extrémité de la ligne. Comme déjà mentionné, il reste encore dans ce cas un courant capacitif sous forme d'un arc résiduel. Pour que la refermeture réussisse, il faut que l'air soit totalement désionisé avant le réenclenchement. Jusqu'à présent, on n'a que peu de renseignements quant à la durée de ces arcs résiduels; c'est pourquoi il nous a paru utile d'en mesurer le courant et la tension. Lors d'un court-circuit monophasé on peut admettre un temps mort relativement élevé (0,45 s environ) sans compromettre la stabilité du réseau puisque la transmis-

sion de la puissance se fait encore par les deux autres conducteurs et la terre. Ce temps plus élevé augmente la sécurité contre le réallumage éventuel de l'arc après la refermeture.

Comme il ressort des figures 4 et 5, le point de

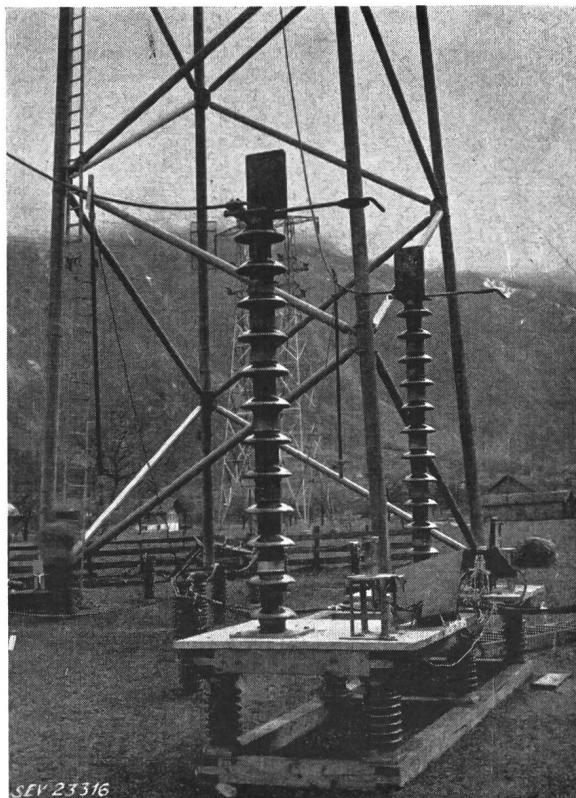


Fig. 3

Dispositif pour l'allumage des arcs

On voit distinctement au pied des colonnes d'isolateurs les «canons à air comprimé». Lors d'une double mise à la terre il faut veiller à ce que l'allumage des 2 phases soit bien simultané.

Longueur d'amorçage de l'arc: 2,05 m pour une mise à la terre; 2,65 m pour un court-circuit biphasé isolé.

défaut se trouvait aux essais dans la zone surveillée par chacun des deux relais au premier gradin. Pour

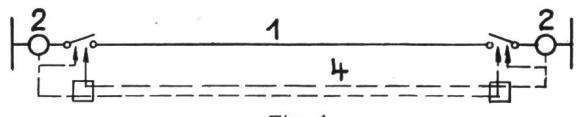


Fig. 4

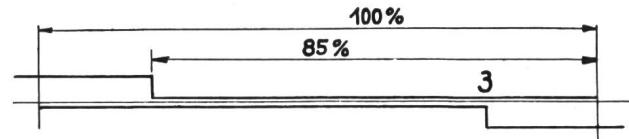


Fig. 5

Caractéristique de déclenchement des relais de distance et schéma de principe du couplage du déclenchement par canal H. F.

1 Ligne à protéger; 2 Relais de distance; 3 Caractéristique de déclenchement des relais de distance de la station B;
4 Canal H. F.

ne pas avoir à déplacer toute l'installation vers l'extrémité de la ligne pour faire agir la H. F., ce qui aurait entraîné une perte de temps considérable,

le réglage des relais a été modifié soit à Lavorgo soit à Mettlen, de façon à faire paraître le court-circuit pour les relais soit au milieu de la ligne, soit à son extrémité nord soit à son extrémité sud. Par conséquent, ou bien le canal H. F. ne travaillait pas, ou il transmettait l'ordre de Mettlen vers Lavorgo ou bien de Lavorgo vers Mettlen.

hasard, chaque essai a été effectué deux fois. Chaque phase a donc subi 6 mises à la terre: pour les deux premières, Erstfeld était dans le rayon d'action des deux relais; pour deux autres l'ordre de déclenchement devait être transmis vers le nord par le canal H. F.; pour les deux dernières enfin, vers le sud.

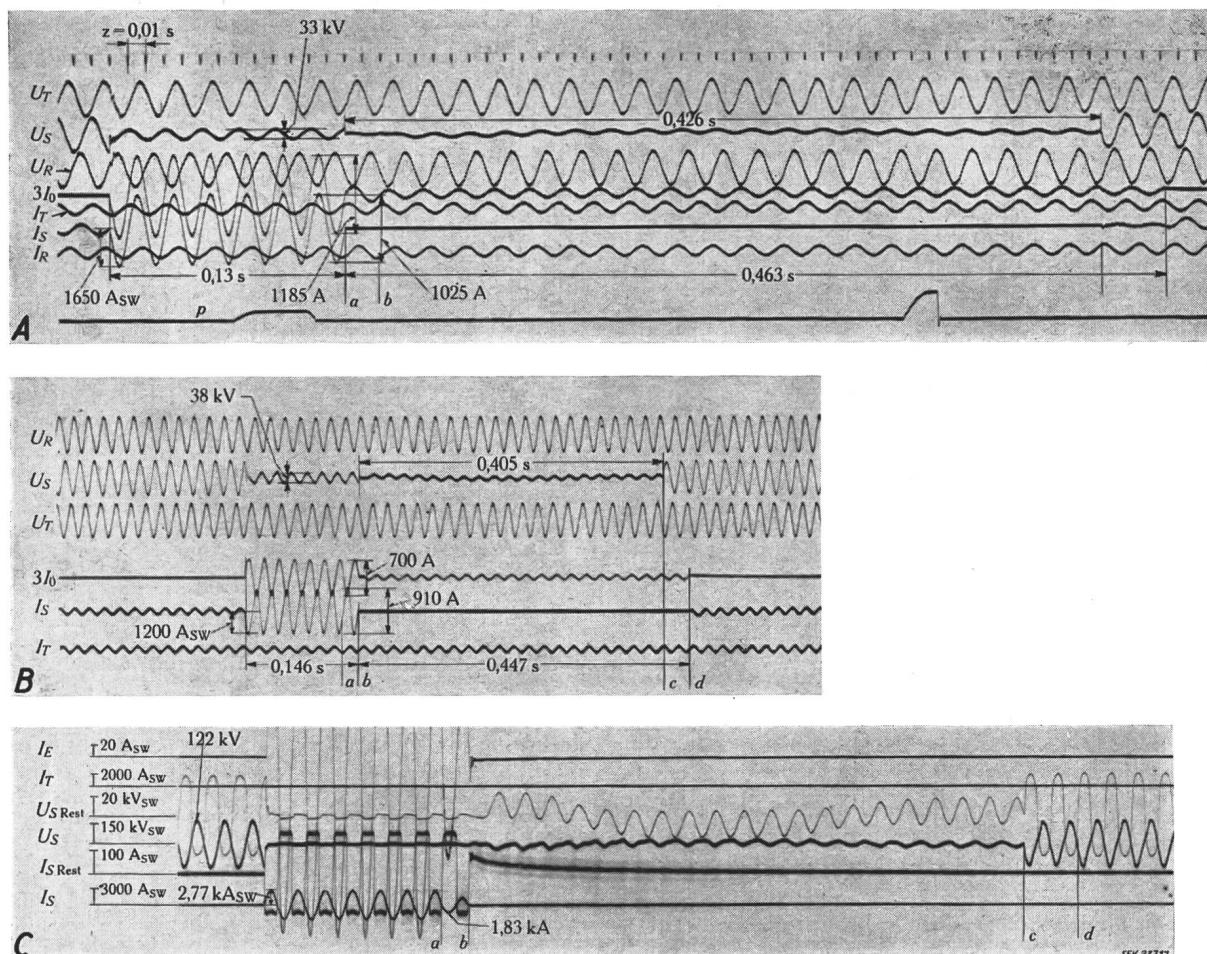


Fig. 6
Oscillogrammes N° 1 de Mettlen, Lavorgo et Erstfeld

Déclenchement et refermeture monophasés. Mise à la terre de la phase S. Erstfeld est dans le champ de protection des 2 relais.

A Mesures à Mettlen; B Mesures à Lavorgo; C Mesures à Erstfeld; a Le disjoncteur de Mettlen déclenche automatiquement; b Le disjoncteur de Lavorgo déclenche automatiquement; c Le disjoncteur de Mettlen réenclenche automatiquement; d Le disjoncteur de Lavorgo réenclenche automatiquement; U_R Tension simple de la phase R; U_S Tension simple de la phase S; U_T Tension simple de la phase T; I_R Courant de la phase R; I_S Courant de la phase S; I_T Courant de la phase T; $3 \cdot I_0$ Sommes des 3 courants; U_{S-Rest} et U_{T-Rest} Tension résiduelle simple respectivement pour les phases S et T, mesurée avec limiteurs d'amplitude. I_{S-Rest} et I_{T-Rest} Courant résiduel respectivement de la phase S et T après déclenchement des 2 extrémités, mesuré avec limiteurs de l'amplitude. I_E Courant allant directement au sol au pylône d'essai lors d'une mise à la terre. p Ordre de commande du disjoncteur. z Echelle du temps.

La tension résiduelle de la phase S présente une oscillation d'environ 2,8 périodes par seconde après l'extinction de l'arc résiduel. Cette oscillation est causée par la capacité de la phase S et par les transformateurs de potentiel de la ligne

Résultats des essais

1. Courts-circuits sur la ligne à 220 kV Mettlen-Lavorgo

Les essais de mise à la terre et de court-circuit sur la ligne à 220 kV ont été réalisé en utilisant les phases S et T. La transmission H. F. étant faite par ces phases, il en résulte les conditions de transmission les plus difficiles. Pour éviter l'influence du

Les oscillogrammes de la fig. 6 témoignent du bon fonctionnement de tout l'équipement.

Ces oscillogrammes montrent que la refermeture rapide eut un plein succès. Le court-circuit a été pratiquement coupé aussi vite à Mettlen qu'à Lavorgo. De même la différence entre les temps morts des disjoncteurs n'a atteint que 2,1 cs.

Au dixième essai (fig. 7), la différence des temps morts entre les disjoncteurs de Mettlen et de

Tableau I

Données techniques de quelques essais typiques

Essai N°	Nature du court-circuit	Poste	Déclenchement				Fonctionnement des disjoncteurs	Temps mort			
			Commandé par	Durée de fonctionnement				Disjoncteurs	t_U	t_I	
				Relais	Disjoncteurs	Relais et disjoncteurs					
1	SE	Erstfeld	—	—	—	—	monoph.	—	40,5	—	
		Mettlen	DS	7,0	6,2	13		A+E	42,6	40,5	
		Lavorgo	DS	8,5		14,6		A+E	44,7	40,5	
3	SE	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	41,5	—	
		Mettlen	HF	—	6,5	18		A+E	45,5	41,5	
		Lavorgo	DS	10,0		16		A+E	43,5	47,5	
4	SE	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	42,8	—	
		Mettlen	HF	—	6,0	16,2		A+E	45,4	42,8	
		Lavorgo	DS	9,0		15		A+E	44	46,6	
7	TE	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	46	—	
		Mettlen	DS	6,5	6,5	13		A+E	47	46	
		Lavorgo	DS	8,0		14		A+E	47	48	
10	TE	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	44,8	—	
		Mettlen	HF	—	6,5	17		A+E	47,3	44,8	
		Lavorgo	DS	9,0		15		A+E	47	49,3	
12	TE	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	45,5	—	
		Mettlen	DS	6,0	5,8	12		A+E	48	45,5	
		Lavorgo	HF	—		14		A+E	47,5	49,5	
15	ST	Erstfeld	—	—	—	—	triph.	—	25	—	
		Mettlen	HF	—	6,8	17		A+E	25	25	
		Lavorgo	DS	9,0	—	15		A+E	29	29	
16	ST	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	28	—	
		Mettlen	HF	—	6,0	17,5		A+E	28	28	
		Lavorgo	DS	9,5		15,5		A+E	31	31	
17a	ST	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	25,5	—	
		Mettlen	DS	11,0	6,0	17		A+E	28,5	25,5	
		Lavorgo	HF	—		20		A+E	31,5	34,5	

Symboles utilisés dans les tableaux I et II

Signes généraux:	—	N'entre par en ligne de compte
	0	Néant
	case inoccupée	} N'a été ni observé, ni mesuré
Nature du court-circuit:	SE	Mise à la terre de la phase S
	TE	Mise à la terre de la phase T
	ST	Court-circuit bipolaire entre phases S et T
Commande du déclenchement par:	DS	Commandé par relais de distance
	HF	Commandé par H. F.
Fonctionnement du disjoncteur:	A+E	Déclenchement et refermeture
	1 ph	Monophasé
	3 ph	Triphasé
Temps mort:	t_U	Temps pendant lequel la tension de service n'est pas appliquée à la phase affectée
	t_I	Temps pendant lequel le courant de service ne circule pas dans la phase affectée
Réglage du relais de distance:	% V	Réglage du transformateur d'ajustage de tension en %, avec constante c = 0,5
% de la distance du court-circuit:		Le 1 ^{er} gradin couvre ... % de la distance du lieu de court-circuit Erstfeld
Voyants des relais:	D	Contacteur de déclenchement
	S	Contacteur de déblocage phase S
	T	Contacteur de déblocage phase T
	E	Contacteur de terre
	W	Contacteur de réenclenchement
	CU	Relais à minimum de tension pour la sélection de phase du signal H. F. (): fonctionnement seulement après déclenchement
	HF	Réception de la haute-fréquence
Courants de court-circuit:		Valeur efficace avant le déclenchement, d'après l'oscillogramme
	I_S	Courant de court-circuit dans la phase S
	I_T	Courant de court-circuit dans la phase T
	I_E	Courant, qui, au point de court-circuit, passe directement dans le sol, c. à. d. le courant de mise à la terre total moins le courant dans le fil de terre
	$3I_0$	Somme des 3 courants de phase
	U_{mat-O}	Tension entre le pylône d'essai et le point neutre du réseau local à 380 V
	U_{sonde}	Tension donnée par la sonde entre la terre et le point neutre du réseau local à 380 V
	Emplacement de la sonde: Voir fig. 13	

Fonctionnement des relais et disjoncteurs

Tableau I

Réglage du 1er échelon des relais		Signalisation des relais			Autres fonctionnements de relais				Conditions atmosphériques à Erstfeld		
% Vc = 0,5	% de la distance du c. c.	Relais de distance	CU	HF	Mettlen, départ Airolo	Airolo, départ		Lavorgo, départ Airolo	Humidité relative	Vent	Température
						Mettlen	Lavorgo		%	m/s	°C
—	—	—	—	—	O	E	O	SE	90	2,7	9
47	175	DSEW	S	O	O	E	O	SE	90	2,7	9
47	160	DSEW	S	HF	O	E	O	E	90	2,7	9
—	—	—	—	—	SE	E	O	E	90	2,7	9
197	42	SEW	S	HF	SE	E	O	E	90	2,7	9
47	160	DSEW	S	O	O	E	O	E	90	2,7	9
—	—	—	—	HF	E	E	O	E	90	2,7	9
110	76	SEW	S	HF	E	E	O	E	90	2,7	9
47	160	DSEW	S	O	O	E	O	E	90	2,7	9
—	—	—	—	HF	E	E	O	TE	90	2,7	9
47	175	DTEW	T	HF	E	E	O	TE	90	2,7	9
47	160	DTEW	T	HF	E	E	O	TE	90	2,7	9
—	—	—	—	HF	TE	TE	O	TE	90	2,7	9
110	76	TEW	T	HF	TE	TE	O	TE	90	2,7	9
47	160	DTEW	T	HF	TE	TE	O	TE	90	2,7	9
—	—	—	—	O	E	E	E	TE	68	0	11
47	175	DTEW	T	O	E	E	E	TE	68	0	11
87	85	TEW	T	HF	E	E	E	TE	68	0	11
—	—	—	—	HF	T	O	T	T	96	0	8
99	85	TW	ST(R)	HF	T	O	T	T	96	0	8
47	160	DTW	ST(R)	O	T	O	O	T	96	0	8
—	—	—	—	HF	T	O	O	T	96	0	8
94	90	STW	ST(R)	HF	T	O	O	T	96	0	8
47	160	DTW	ST(R)	O	T	O	O	T	96	0	8
—	—	—	—	O	T	O	O	T	93	0	8
47	175	DSTW	ST(R)	O	T	O	O	T	93	0	8
82	90	TW	ST(R)	HF	T	O	O	T	93	0	8

Données techniques de quelques essais typiques : Courants et tensions

Tableau II

Essai N°	Poste	IS	IT	3 I ₀ Luk- manier	IE	3 I ₀ Gott- hard	Tension de la phase affectée	Tension de l'arc principal		Durée du c. c.	Tension capacitive après extinction de l'arc résiduel		Chute de tension dans le sol		
								Valeur de crête	Phase S		U _{mât-0}	U _{sonde}	Emplacement de la sonde		
								kV	kV		cs	kV	kV	kV	
		A	A	A	A	A	kV	kV	kV	cs	kV	kV	kV	kV	
1	Erstfeld	1840	—	1840	—	314	33	3,2	—	15	10,0	—	4,75	—	II/100
	Mettlen	1025	—	1185	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lavorgo	850	—	690	—	—	38	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Erstfeld	2130	—	2130	370	—	—	3,0	—	18	13,0	—	5,7	0,77	II/20
	Mettlen	—	—	—	—	—	46,7	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lavorgo	—	—	—	—	—	—	—	—	16	—	—	—	—	—
4	Erstfeld	2220	—	2220	360	406	46,8	2,6	—	16	13,0	—	5,6	0,70	II/20
	Mettlen	1390	—	1560	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lavorgo	790	—	640	—	—	34,3	—	—	15	—	—	—	—	—
7	Erstfeld	—	2120	2120	400	—	—	—	2,5	14	—	17,5	5,6	3,70	Mât
	Mettlen	—	—	—	—	—	46,6	—	—	13	—	—	—	—	—
	Lavorgo	—	—	—	—	—	33,3	—	—	14	—	—	—	—	—
10	Erstfeld	—	2100	2100	370	420	—	—	2,9	17	—	18,0	5,5	0,40	I/40
	Mettlen	—	1430	1560	—	—	46,5	—	—	17	—	—	—	—	—
	Lavorgo	—	740	660	—	—	34,5	—	—	15	—	—	—	—	—
12	Erstfeld	—	2110	2110	380	—	—	—	2,9	14	—	18,0	5,4	0,33	I/40
	Mettlen	—	—	—	—	—	47,2	—	—	12	—	—	—	—	—
	Lavorgo	—	—	—	—	—	36,5	—	—	14	—	—	—	—	—
15	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	—	—	17	—	—	—	—	—
	Mettlen	920	890	—	—	—	75	—	—	17	—	—	—	—	—
	Lavorgo	580	565	—	—	—	68	—	—	15	—	—	—	—	—
16	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	—	—	18	—	—	—	—	—
	Mettlen	—	—	—	—	—	72,5	—	—	18	—	—	—	—	—
	Lavorgo	—	—	—	—	—	67,5	—	—	15	—	—	—	—	—
17a	Erstfeld	—	—	—	—	—	—	—	—	20	—	—	—	—	—
	Mettlen	880	—	—	—	—	68	—	—	17	—	—	—	—	—
	Lavorgo	—	—	—	—	—	—	—	—	20	—	—	—	—	—

Lavengo fut également petite et n'atteignit que 0,3 cs.

Lors des essais de court-circuit entre deux phases (les phases S et T) le disjoncteur à chaque ex-

provoquait sur le tronçon à 220 kV aucun déclenchement intempestif. On a créé des courts-circuits à la terre monophasés et biphasés sur les phases S et T, au même endroit et avec la même installation

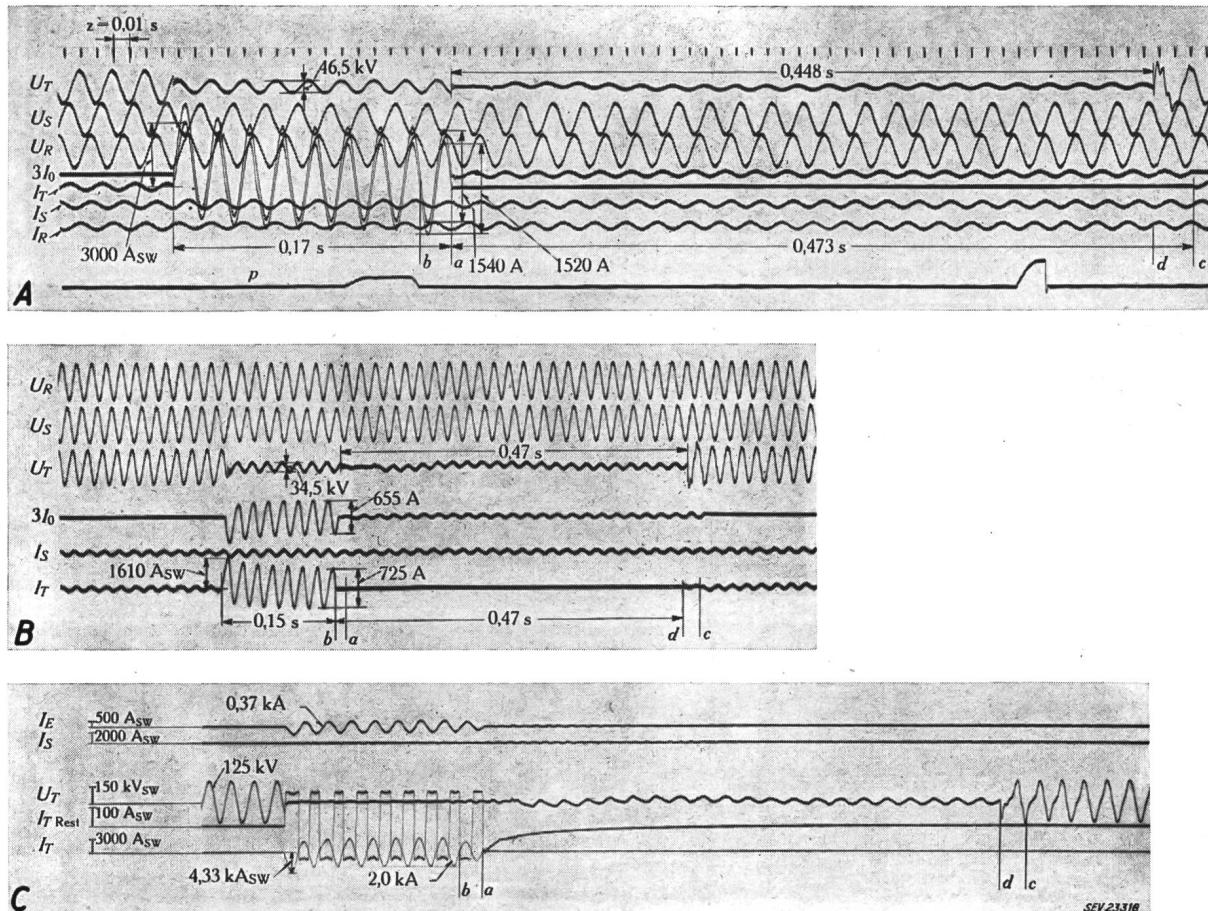


Fig. 7
Réenclenchement réussi pour une mise à la terre de la phase T (Essai N° 10)

Erstfeld est dans l'échelon de base du relais de Lavengo et dans le 2^e échelon de celui de Mettlen. Mettlen reçoit l'ordre de déclenchement qu'envoie Lavengo par le canal H.F.

Pour la signification des symboles, se reporter à la fig. 6

trémité de la ligne devait effectuer un déclenchement triphasé avec refermeture. La figure 8 montre l'arc de court-circuit lors de l'essai n° 15.

Les oscillogrammes des fig. 9 et 10 donnent 2 exemples de tels courts-circuits.

On trouvera dans les tableaux I et II les résultats techniques tirés d'un certain nombre d'oscillogrammes pris au cours des essais.

Pour les essais n° 1 à 14, la puissance transmise par la ligne à 220 kV a varié de 20 à 25 MW. Pour les autres essais, la charge était pratiquement nulle. La puissance réactive se situait entre 36 et 58 MVar avec un courant de 100 à 180 A.

2. Courts-circuits sur la ligne à 150 kV Mettlen-Airolo

Le but principal de ces essais était, comme on l'a déjà dit, de montrer que le canal H. F., malgré la forte induction due au voisinage des lignes, ne

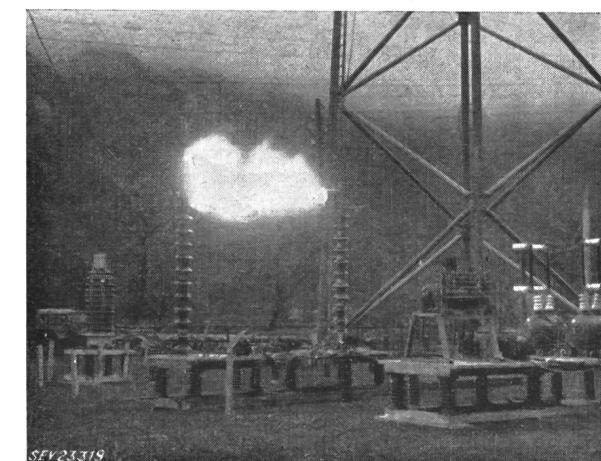


Fig. 8
Court-circuit entre 2 phases isolées sur la ligne à 220 kV du Lucmanier (essai N° 15)

Malgré les puissances en jeu de part et d'autre de la ligne l'arc ne s'étend pas grâce au déclenchement rapide (0,17 s).

que précédemment. Les disjoncteurs, aux deux extrémités de la ligne n'étant pas prévus pour la re-fermeture automatique, chaque déclenchement

était donc définitif. Tous les courts-circuits ont été éliminés correctement et il ne se produisit aucun déclenchement par le canal H. F.

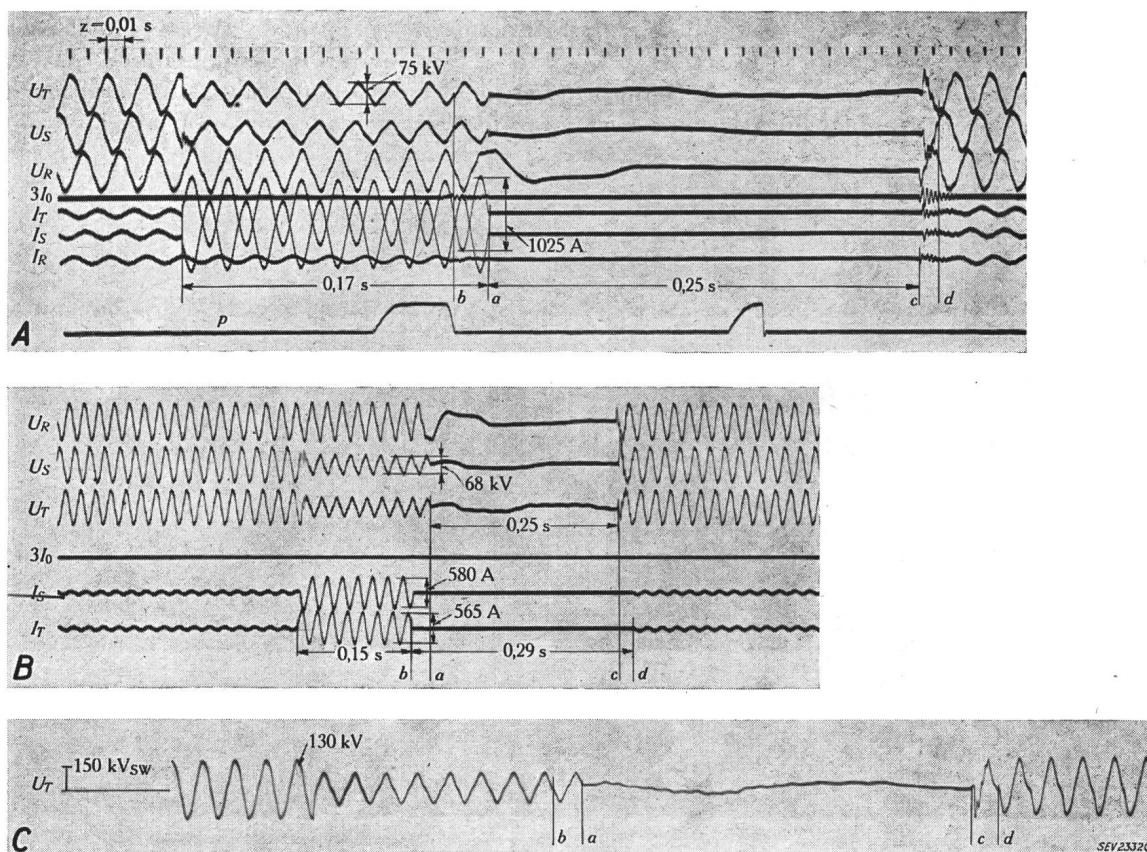


Fig. 9

Refermeture tripolaire réussie pour un court-circuit isolé entre les phases S et T (essai N° 8)

Erstfeld est dans l'échelon de base du relais de Lavorgo. Mettlen reçoit l'ordre de déclenchement par le canal H. F.

La petite pointe de courant homopolaire lors du déclenchement triphasé montre la précision et la simultanéité de fonctionnement des disjoncteurs de 3 phases. Lors de l'enclenchement de la ligne à vide, on note, par suite de l'à-coup sur la capacité, une valeur un peu plus forte de l'amplitude qui atteint 200 A, avec une fréquence de 400 périodes environ.

Pour l'explication des symboles, se reporter à la fig. 6

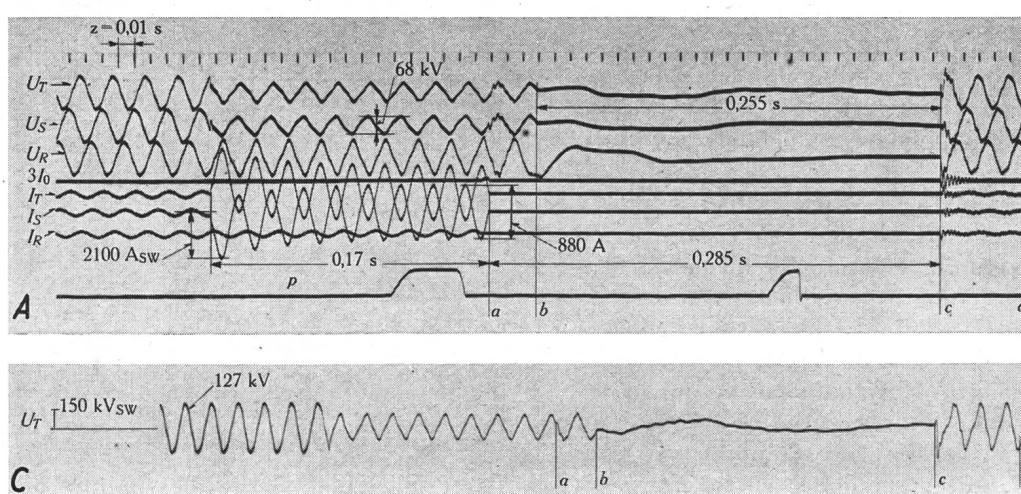


Fig. 10

Refermeture tripolaire réussie pour un court-circuit isolé entre les phases S et T (essai N° 17a)

Erstfeld est dans l'échelon de base du relais de Mettlen; Lavorgo reçoit par le canal H. F. l'ordre de déclenchement. Pour l'explication des symboles se reporter à la fig. 6

Les photos de deux courts-circuits sont données par les fig. 11 et 12.

Comportement de l'arc de court-circuit au cours des essais

a) Court-circuit monophasé à la terre

Comme on le sait, il peut rester après la coupure du court-circuit un arc résiduel dû à la tension et

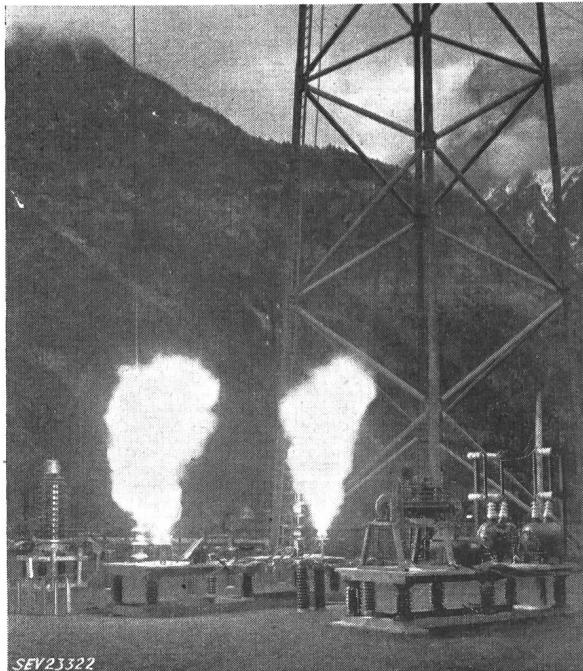


Fig. 11
Court-circuit contre terre des phases S et T de la ligne à 150 kV Mettlen-Lavorgo

à la capacité entre les phases saines et la phase affectée. Il ressort des oscillogrammes que cet arc s'est éteint de lui-même très rapidement, au maximum 3,4 demi-ondes après la fin du court-circuit. Ceci est de la plus haute importance pour le succès de la refermeture, respectivement pour la continuité du service. Si l'arc résiduel ne s'éteignait qu'après 1 seconde par exemple, dans bien des cas le réenclenchement ne serait pas possible à cause de l'instabilité qui pendant ce temps s'établirait sur le réseau.

Le courant résiduel n'avait pas l'allure d'un courant de fréquence normal mais au contraire n'a apparu qu'accidentellement sous la forme du courant de décharge d'une capacité au réallumage de l'arc. Le tableau III contient ces pointes de courant lors des essais n° 2, 6, 8, 9, 10, 11, de même que les pointes de la tension de rétablissement qui précédaient et du temps écoulé entre la coupure du court-circuit et la dernière de ces pointes de courant. Lors des essais monophasés autres que ceux notés dans le tableau III, il n'y eut pas de courant résiduel. Le tableau III donne aussi la valeur de la tension de la phase affectée après extinction de l'arc résiduel.

Comme on le constate, le courant et la tension avant le réallumage de l'arc résiduel variaient fortement. Ainsi lors de l'essai n° 2 ils étaient respectivement de 4 A et 2,6 kV ces grandeurs atteignant 85 A et 43 kV pour l'essai n° 11. Le courant stationnaire capacitif de l'arc résiduel aurait été, lui, de 3 A environ. L'oscillogramme constituant la figure 13 montre entre autres la variation du courant de l'arc au cours de l'essai n° 11.

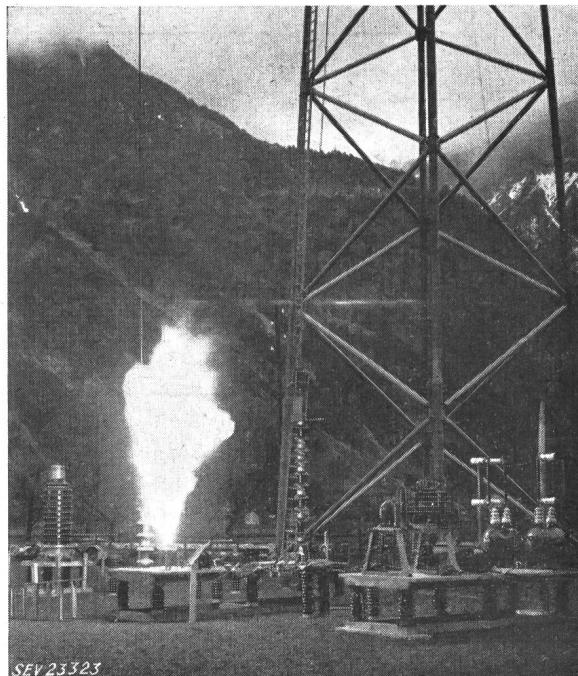


Fig. 12
Mise à la terre de la phase T de la ligne à 150 kV Airolo-Mettlen

Malgré le parallélisme des deux lignes la H. F. de la ligne à 220 kV n'est pas influencée et ne donne pas d'ordre de déclenchement intempestif

Comportement de l'arc résiduel

Tableau III

Essai N°	Pointes de crt. dans l'arc résiduel (à coup de dé- charge capacitif au réallumage)		Tension au défaut avant le réallumage de l'air Valeur de crête	Intervalle de temps entre la coupure du cc. et la dernière pointe de courant	Tension ca- pacitive après extinction de l'arc résiduel Valeur effective kV ¹⁾
	N°	A			
2	4		2,6	1,2	11,5
6	44	23			
	42	21		2,8	12,5
8	15	9,5		1,4	18,0
9	6	8,3		2,2	17,5
10	6	8,9			
	39	27		2,4	18,0
11	42	21			17,5
	85	43			
	7,2	7,5		3,4	

¹⁾ Il ne s'agit que de la partie de la tension à 50 p/s provenant de la capacité entre conducteurs sains et conducteur d'essai, sans tenir compte de l'oscillation (d'environ 1 à 2 p/s) due aux transformateurs de mesure de la tension avec la capacité de la ligne.

Les valeurs plus élevées des pointes de courant que dans le régime stationnaire sont dues aux phénomènes oscillatoires connus qui se produisent en cas de réamorçages lors de la coupure de courants capacitifs.

Suite de la page 770

Essais de court-circuit avec refermeture rapide sur la ligne à 220 kV Mettlen-Lavorgo (Suite)

Les temps fixés pour la refermeture du disjoncteur (intervalle de temps entre l'interruption du courant de court-circuit et le réenclenchement), mesurés au point du court-circuit, variaient entre 0,4 et 0,46 s. Tous les réenclenchements réussirent. Il n'a pas été fait d'essai avec des temps de refermeture plus brefs. Cependant, en se basant sur les essais de court-circuit entre 2 phases, il doit être

d'arc de 2,1 à 3,1 kV, ce qui correspond à une résistance de l'arc d'environ 1,55 ohm. Or, d'après Warrington [1]²), une longueur de l'arc de 2,1 m pour un courant de 1,65 kA donne comme valeur de la résistance d'arc:

$$R = \frac{27800 \cdot l}{I^{1,4}} = 1,83 \Omega$$

(l en m; I en A)

ce qui correspond bien à la valeur mesurée.

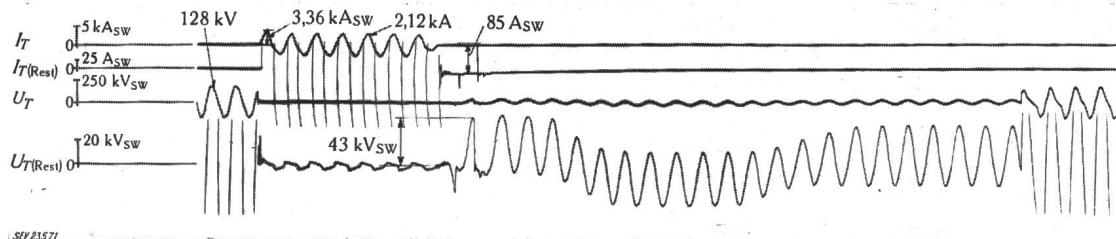


Fig. 13

Réenclenchement monophasé réussi dans le cas de la mise à la terre de la phase T (essai N° 11)

C'est au cours de cet essai que le courant et la durée de l'arc résiduel ont été les plus grands

$I_{T(\text{Resid.})}$ Courant (et courant résiduel) de la phase T, mesuré avec limiteur d'amplitude.

$U_{T(\text{Resid.})}$ Tension (et tension résiduelle) de la phase T, mesurée avec limiteur d'amplitude.

possible, dans les conditions des essais, d'obtenir de bons résultats même pour des temps de refermeture beaucoup plus courts. Comme le réamorçage de l'arc résiduel est certainement aussi peu probable dans le cas d'un petit courant capacitif que dans le cas d'un courant de court-circuit beaucoup plus important, on peut s'attendre à ce que les réenclenchements monophasés soient encore possibles pour des temps de refermeture qui ne seraient supérieurs au minimum nécessaire pour le temps de refermeture dans le cas d'un réenclenchement triphasé que de la durée de l'arc résiduel (ici 0,034 s).

b) Courts-circuits isolés entre deux phases

Lors de courts-circuits entre deux phases avec déclenchement triphasé, on détermina le temps mort de tension t_U pour lequel la refermeture est encore possible. (Les essais biphasés ainsi que les essais monophasés n'ont pas tous été reproduits dans les tableaux I et II.) Des temps morts de 0,16, 0,18, 0,19 s conduisirent à un réallumage de l'arc, ce qui ne fut pas le cas avec des temps morts de 0,22, 0,23, 0,25, 0,26, 0,28 s. Pour des conditions telles que celles des essais la limite inférieure admissible du temps mort est donc de 0,2 s. Il faut toutefois remarquer que lors des courts-circuits entre phases, la distance d'amorçage de l'arc n'était que de 2,65 m, alors qu'en réalité les conducteurs sont beaucoup plus écartés de sorte que pour le service une limite inférieure à 0,2 s serait probablement admissible.

Remarquons encore que, pour une longueur d'arc de 2,1 m et un courant de court-circuit de 1,5 à 1,8 kA les oscillosogrammes donnent une tension

Répartition du potentiel dans le sol

A Erstfeld on a relevé, en plus des grandeurs intéressantes la refermeture rapide, la tension entre le fil de terre de la ligne et le point neutre du réseau local à 380 V et en outre la répartition du potentiel tout autour du socle du pylône d'essai. Les figures 14 et 15 situent les points de mesure et donnent les tensions relevées pendant les courts-circuits.

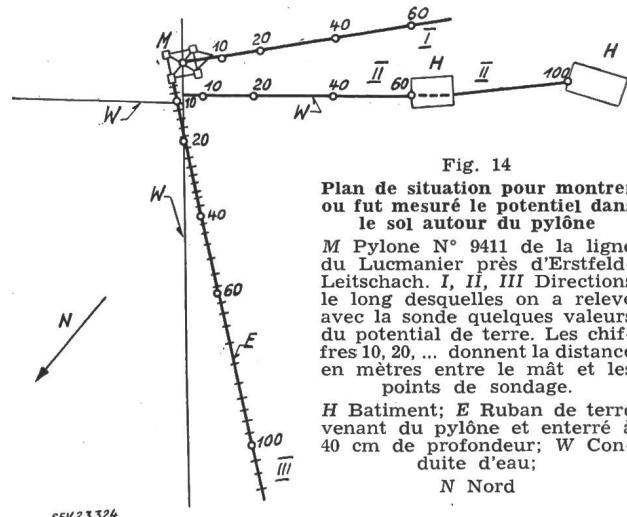


Fig. 14

Plan de situation pour montrer où fut mesuré le potentiel dans le sol autour du pylône

M Pylône N° 9411 de la ligne du Lucmanier près d'Erstfeld-Leitschach. I, II, III Directions le long desquelles on a relevé avec la sonde quelques valeurs du potentiel de terre. Les chiffres 10, 20, ... donnent la distance en mètres entre le mât et les points de sondage.

H Bâtiment; E Ruban de terre venant du pylône et enterré à 40 cm de profondeur; W Conduite d'eau; N Nord

Le maximum de tension entre le câble de terre (pylône) et le neutre du réseau local atteignit 5,9 kV au cours de l'essai n° 5. Le sol avait été arrosé tout autour du pylône pendant plusieurs heures avant l'essai. On peut par conséquent admettre qu'avec un sol plus sec, le potentiel du pylône aurait été encore plus élevé. La répartition du

²⁾ voir la bibliographie à la fin de l'article.

potentiel autour du pylône n'était pas symétrique car plusieurs conduits d'eau traversaient le terrain alentour. Lors des courts-circuits monophasés à la terre, environ 20 % du courant se sont écoulés di-

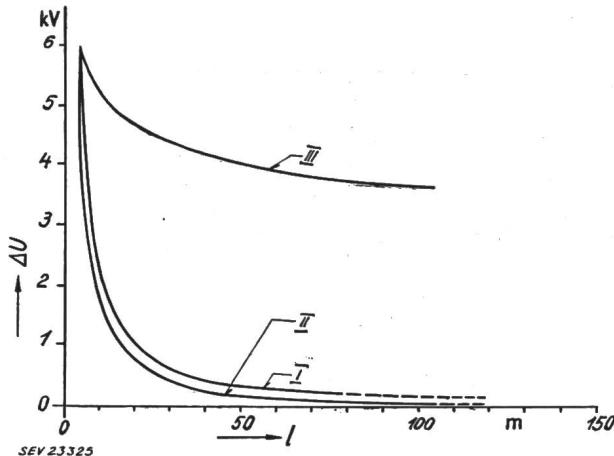


Fig. 15

«Répartition du potentiel»

Différence de potentiel ΔU entre la terre du réseau local à 380 V à Erstfeld et différents points du sol, en fonction de leur distance au pylône, suivant les directions indiquées figure 13 par I, II, III.

rectement du pylône vers la terre et les 80 % restants ont passé par le fil de terre pour rejoindre le sol par les pylônes voisins.

Bibliographie

- [1] Warrington, A. R.: Reactance Relays Negligibly Affected by Arc Impedance. Electr. Wld. Bd. 48(1931), S. 502...505.
- [2] Parker, W. W. und H. A. Travers: Reclosing of Single Tie Lines between Systems. Trans. AIEE Bd. 63(1944), März, S. 119...122.
- [3] Kirschbaum, H. S.: Transient Electrical Torques of Turbine Generators During Short Circuits and Synchronizing. Trans. AIEE Bd. 64(1945), Februar, S. 65...70.

- [4] Sporn, P. und C. A. Muller: Nine Years' Experience with Ultrahigh-Speed Reclosing of High-Voltage Transmission Lines. Trans. AIEE Bd. 64(1945), Mai, S. 225...228.
- [5] Wanger, W.: Systematische Versuche über Schnellwieder einschaltung im Netz der Kraftwerke Gösgen und Lauf enburg. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 21, S. 697...715.
- [6] Crary, S. B.: Power System Stability. New York: Wiley 1945/1947.
- [7] Trainor, J. J. und C. E. Parks: Experience with Single Pole Relaying and Reclosing on a Large 132-kV-System. Trans. AIEE Bd. 66(1947), S. 405...412.
- [8] Batchelor, Y. W., D. L. Whitehead und Y. S. Williams: Transient Shaft Torques in Turbine Generator Produced by Transmission Line Reclosing. Trans. AIEE Bd. 67(1948), S. 159...164.
- [9] Thommen, H.: Leistungsschalter und Nullpunktterdung. Brown Boveri Mitt. Bd. 35(1948), Nr. 7/8, S. 227...230.
- [10] Dana, G. E.: Experience with High-Speed Reclosing. Electr. Engng. Bd. 67(1948), Oktober, S. 942...944.
- [11] Evans, R. D. und H. N. Muller: Power System Stability, Basic Elements of Theory and Application Electric Transmission and Distribution. Reference Book from Westinghouse, 4. Aufl. S. 433...495. New York: 1950.
- [12] Boisseau, A. C., B. W. Wyman und W. F. Skeats: Effect of Deionization Time on Reclosing Circuit Breakers. Electr. Engng. Bd. 69(1950), April, S. 346...350.
- [13] Parks, C. E. und W. R. Brownlee: Relaying and High Speed Reclosing on Long, Heavily-Loaded Lines. Electr. Engng. Bd. 69(1950), Mai, S. 422...425.
- [14] Berger, K.: Isolation und Überspannungen, Stabilität der Höchstspannungübertragung. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 4, S. 129...137.
- [15] Jancke, G. und U. Sandström: Essais de champs de disjoncteurs 380 kV. Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (CIGRE), Paris 1954, Bd. 2, Rapp. 106, 18. S.
- [16] Cabanes, L., C. Dietsch und Divan: La longueur des lignes limite-t-elle l'emploi du réenclenchement automatique monophasé dans les réseaux de transport d'énergie à très haute tension? Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (CIGRE), Paris 1954, Bd. 2, Rapp. 142, 12. S.
- [17] Matthey-Doret, A. und A. Leuthold: Netzversuche mit Schnellwieder einschaltung in einem Höchstspannungsnetz. Brown Boveri Mitt. Bd. 41(1954), Nr. 9, S. 351...353.
- [18] Gillies, D. A.: Operating Experience with 230-kV-Auto matic Reclosing on Bonneville Power Administration System Power Apparatus Syst. Bd. —(1955), S. 1692...1696.
- [19] Norlin, L.: Snabbaterinkoppling av högspanningsbrytare. Tekn. T. Bd. —(1955), S. 177...180.

Adresse des auteurs:

F. Schär, Aar et Tessin S.A. d'Electricité, Olten (SO).
P. Baltensperger, Dr ès sc. math., S. A. Brown, Boveri & Cie, Plateforme d'essai des courts-circuits, Baden (AG).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)

13. Plenarversammlung vom 13. bis 22. Juni 1955
in Zürich

Die CIE schob auf Wunsch der Schweiz zwischen die 12. und 13. Plenarversammlung ein Intervall von 4 Jahren ein. Anlässlich der 12. Plenarversammlung, die im Jahre 1951 in Stockholm stattfand¹⁾, hat der schweizerische Vertreter nach vorgenommenen Sondierungen eine Einladung bekannt gegeben, die folgende Plenarversammlung in der Schweiz abzuhalten. Die CIE nahm diese Einladung an. Die Plenarversammlung ist vom 13. bis 22. Juni 1955 in Zürich durchgeführt worden. Vor und nach der 13. Plenarversammlung tagten die Comités der CEI-Leitung (Scope-, Statutes- und Finance-Committees).

Träger der örtlichen Organisation war das SBK²⁾. Dieses hat in seiner 38. Sitzung vom 20. Mai 1952 einen vorbereitenden Ausschuss bezeichnet, dem 7 Mitglieder und Mitarbeiter des SBK angehörten. Unter dem Vorsitz von H. Leuch löste dieser Ausschuss seine Aufgabe im Laufe des Jahres 1952 und legte dem SBK einen Bericht vor. Daraufhin wurde das Organisations-Komitee aus 9 Mitgliedern gebildet. Als Präsident beliebte M. Roesgen; 1. Vize-Präsident wurde R. Spieser. Als 2. Vize-Präsident und gleichzeitig als Generalsekretär wurde H. Leuch bezeichnet und später eine Vertreterin des Damen-Komitees dazugewählt. In zahlreichen Sitzungen des

Organisations-Komitees und dessen Bureau entstanden die Richtlinien für die lokale Organisation. Finanzierungs-, Programm- und Raumfragen gaben zu ausführlichen Diskussionen und Wiedererwägungen gefasster Beschlüsse Anlass. Zahlreiche Fragen mussten mit dem Central-Office der CIE (USA) gemeinsam gelöst und das Programm der Sitzungen von diesem festgelegt werden. Dem Organisations-Komitee standen 6 Arbeits-Komitees zur Seite. Den Mitgliedern der Komitees und den vielen andern Helfern sei auch an dieser Stelle der Dank für ihre Tätigkeit ausgedrückt, welche die erfolgreiche Durchführung der Veranstaltung ermöglicht hat.

Technische Exkursionen führten in den Flughafen Kloten, nach Winterthur in die Oscar-Reinhart-Stiftung und in verschiedenen Gruppen durch Zürich. Die gesellschaftlichen Unterhaltungen umfassten einen Empfang im Stadthaus Zürich, eine Seefahrt nach Rapperswil, das offizielle Bankett, einen Sonntagsausflug auf den Bürgenstock und einen Besuch in Bern. Für die Damen war ein besonderes Programm vorbereitet worden, aus dem die Besichtigungen von Seide-, Schokolade-, Schuh- und Porzellan-Fabriken hier erwähnt seien.

Ausser der feierlich gestalteten Eröffnungssitzung und 23 Halbtags-Sitzungen der Comités d'Etudes, von denen jeweils zwei gleichzeitig tagten, fanden zwei Plenarversammlungen statt. In der abschliessenden Sitzung wurde an die Stelle des bisherigen Präsidenten, Dr. W. Harrison (USA), Dr. J. W. T. Walsh (UK³) gewählt, wobei die Versammlung dem scheidenden Präsidenten den wohlverdienten Dank für die Führung während vier Jahren und für die geleistete

¹⁾ Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 16, S. 580...581.

²⁾ SBK: Schweizerisches Beleuchtungs-Komitee.

³⁾ UK: United Kingdom.