

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 5 (1914)
Heft: 4

Artikel: Quelques cas de surtension d'origine atmosphérique dans un grand réseau aérien
Autor: Waeber, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056623>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

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

Quelques cas de surtensions d'origine atmosphérique dans un grand réseau aérien.

Par A. Waeber, ing., Fribourg.

Les entreprises électriques de distribution à grande distance ont, dès leur origine, enregistré des phénomènes de surtension dus à des causes atmosphériques; phénomènes qui se présentaient soit en hiver pendant les fortes chûtes de neige, soit en été durant les périodes d'orages.

Il est notoire que les premiers appareils de protection étaient non-seulement insuffisants, mais qu'une partie de ces appareils, au lieu de se comporter utilement, étaient une cause de perturbations. Les expériences effectuées dans le réseau de distribution des Services industriels de l'Etat de Fribourg, ont démontré que l'application des théories existantes ne suffisait pas à protéger avec toute l'efficacité désirable, les installations électriques. Les recherches ayant été localisées, et les organes chargés de l'exploitation des réseaux ayant, en présence de chaque cas, noté sur des formulaires ad hoc les remarques qu'ils avaient faites, relatives à des questions précises, la certitude fut bientôt acquise que la plupart des phénomènes de surtension étaient en corrélation intime avec les variations de température, les vents, et, en général, avec les conditions atmosphériques locales. Aussi, les moyens d'y parer durent-ils être multiples.

Bien qu'ils aient été des plus divers, les cas de surtension qui se sont présentés peuvent toutefois être classés sous les trois rubriques suivantes:

1. Réseaux 8000 volts et postes transformateurs;
2. Usines et réseaux 32000 volts;
3. Phénomènes électrostatiques sur les isolateurs.

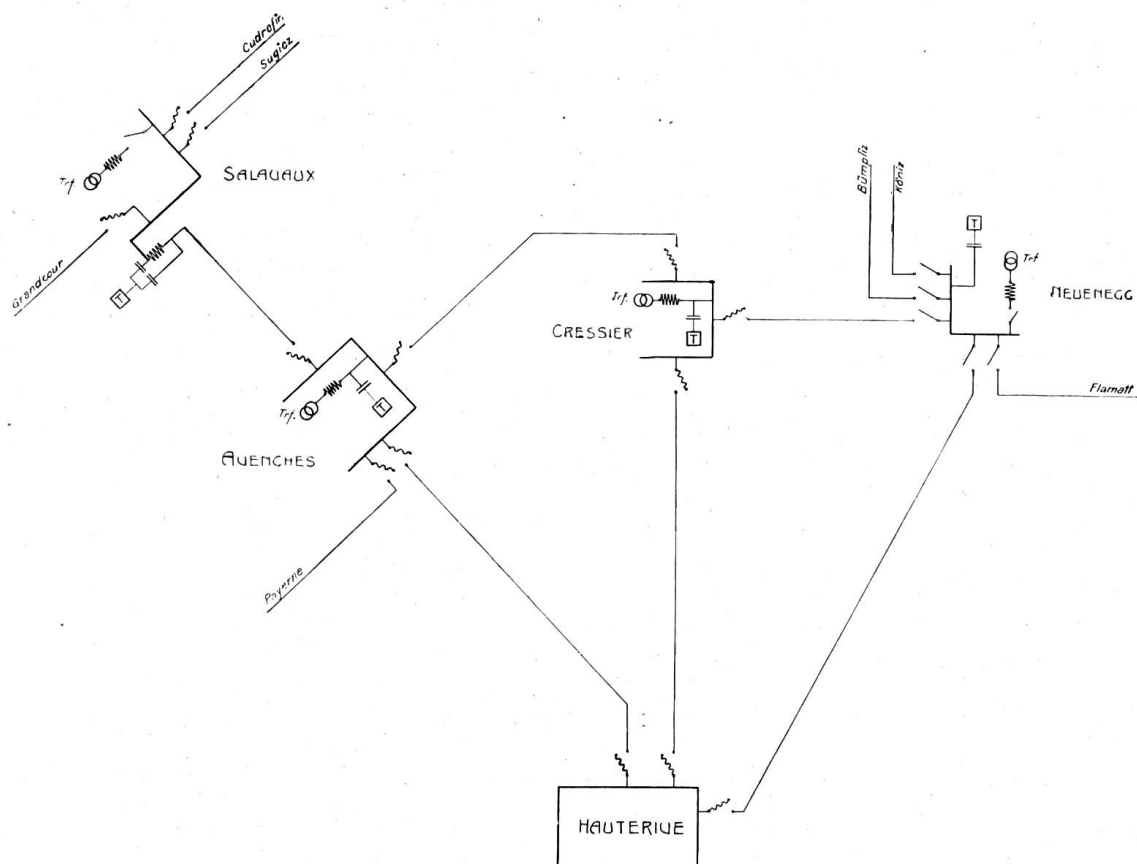


Schéma de distribution des stations de Clanchement, de Salavaux-Avenches-Cressier et Neuenegg.

1. Réseaux 8000 volts.

En 1905 déjà, un article paru dans la „Schweizerische Elektrotechnische Zeitschrift“ (Bemerkung und Vorschläge betreffend Ueberspannungssicherungen von J. Moscicky und Ingenieur A. Waeber, an Centrale Hauterive-Freiburg), indiquait les différents moyens employés par l'entreprise Thusy-Hauterive pour se prémunir des cas de surtension d'origine atmosphérique. (Recherches pratiques sur les moyens de protection contre les surtensions d'origine atmosphérique dans les grands réseaux aériens. Technique moderne tome V n° 11 1912, page 385 et suivantes.) En effet, en 1902, au moment où furent faites sur ses réseaux les premières observations, les appareils de protection se composaient exclusivement de parafoudres à cornes reliés directement à la terre. Ils étaient installés de deux manières, soit montés seuls sur les trois derniers poteaux avant l'entrée de la ligne dans les cabines de transformateurs, soit réunis les trois ensemble sur le même poteau, et reliés à une commune plaque de terre.

Ce système de protection n'était pas sans dangers, car les perturbations produites par le fonctionnement intempestif du parafoudre (oiseaux entre les cornes, neige, coups de foudre, etc.) provoquaient dans le réseau de véritables courts-circuits. Ceux-ci, amorçants des arcs entre les phases, donnaient lieu à des surtensions de grande amplitude bien caractéristiques. Pour limiter le débit de ces appareils, on intercala en série, dans leur circuit, des résistances hydrauliques, les trois phases réunies dans le même récipient. Les premières, que l'on a expérimentées, contenaient de l'eau; puis, voyant les nombreux inconvénients provenant soit de l'évaporation en été, soit du gel en hiver, on réalisa une résistance nouvelle, composée d'un mélange d'eau et de glycérine. (Année 1903/1904.) Cette protection, plus efficace que la précédente, n'était cependant pas suffisante, car les interruptions, bien que moins fréquentes, n'étaient pas supprimées. Mais les recherches méthodiques faites à cette époque orientaient l'entreprise vers d'heureuses améliorations.

Les déclanchements des lignes se produisaient de deux manières différentes:

1) Pendant les jours d'été très chauds et très beaux sans orages, les parafoudres à cornes jouaient spécialement sur les lignes traversant des contrées montagneuses à fortes dénivellations.

2) Au moment des coups de foudre malgré les résistances ohmiques en série.

On para à ces inconvénients, dans le premier cas, en portant de 8 à 12 mm l'espace entre les cornes et en reliant à la terre les barres de distribution de la centrale, au moyen d'un déchargeur à jet d'eau d'un débit de 80 Amp. sous 8000 volts. Les bienfaits de ces dispositifs furent immédiatement constatés dans tout le réseau du secteur avoisinant l'usine de distribution. Le déchargeur à jet d'eau étant difficile à installer dans les cabines de distribution, on y suppléa par le branchement de bobines d'induction à noyau de fer. Les premières, dont l'emploi fut désastreux, étaient triphasées en étoile avec le neutre à la terre; les secondes, monophasées, chaque phase reliée séparément par la bobine à la terre, donnèrent satisfaction.

Pour parer aux effets de la foudre, on projeta de brancher dans les lignes des batteries de condensateurs. La capacité de ces batteries était de 0,04 mf à 0,025 mf. On avait laissé subsister dans les cabines les parafoudres à cornes, en portant l'écartement de celles-ci de 8 à 12 et même 20 mm. Plus tard, ils furent complètement déconnectés du réseau, et les lignes, munies de batteries de condensateurs, n'eurent plus d'appareils de protection à distance explosive.

2. Usines et réseaux 32000 volts.

A l'origine, les usines étaient protégées également par des parafoudres à cornes, système Siemens, avec distance explosive de 8 à 10 mm reliés directement à la terre. Les mêmes inconvénients qui furent enregistrés sur les réseaux se présentèrent. On y obvia par la disposition suivante: en mettant, dans les cas de perturbation, les cornes hors circuit, en shuntant les transformateurs d'intensité des tableaux de départ par une résistance explosive de 1/2 mm et en reliant aux barres de distribution un déchargeur à jet d'eau très important.

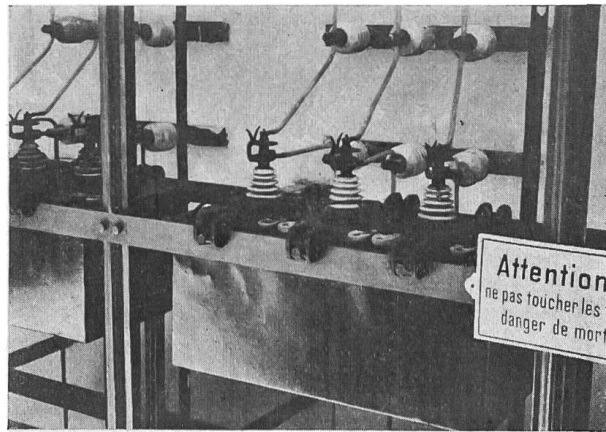


Fig. 1. Usine d'Hauterive. Transformateur d'intensité shunté. 1904.

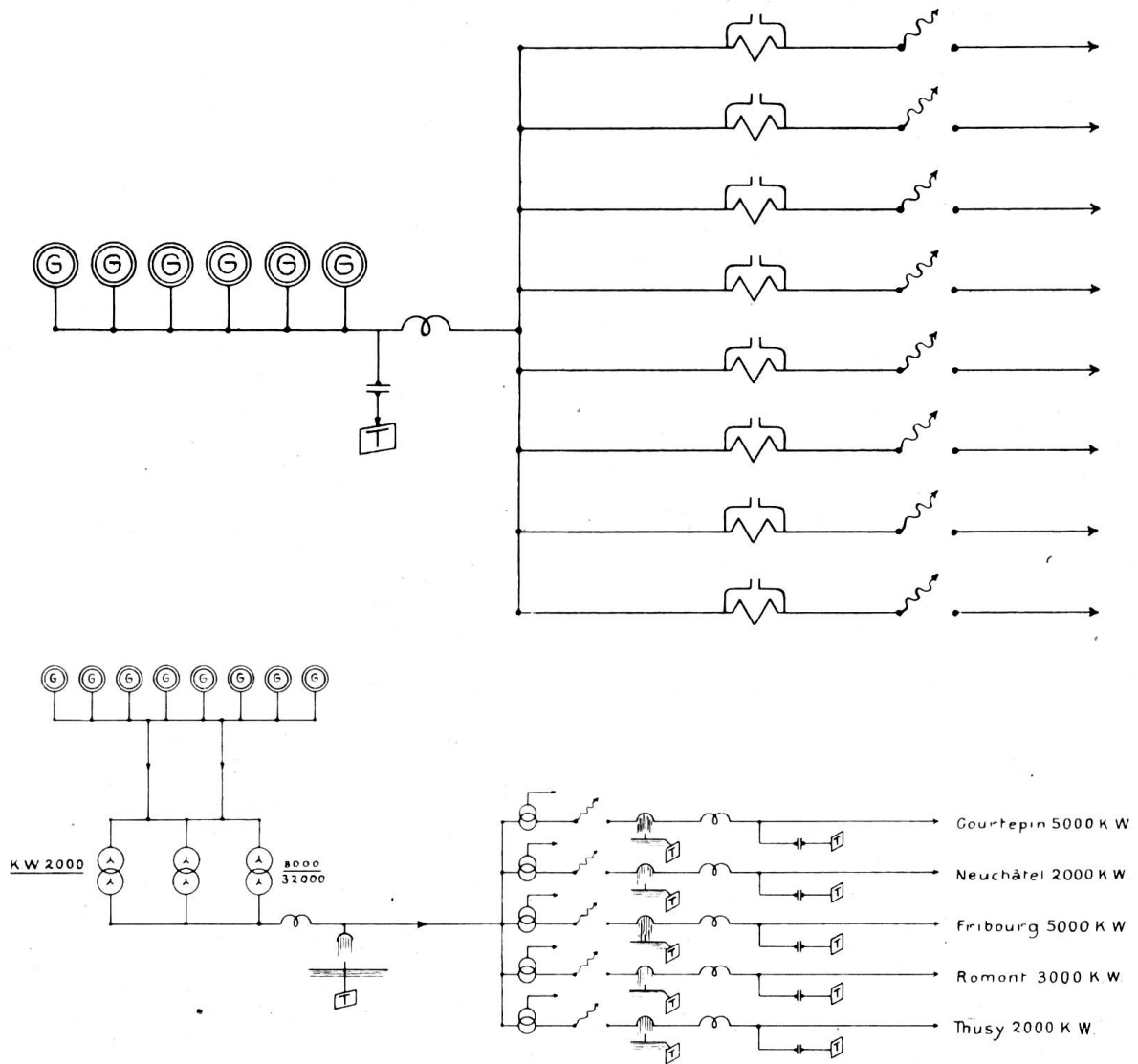


Fig. 2 und 3.

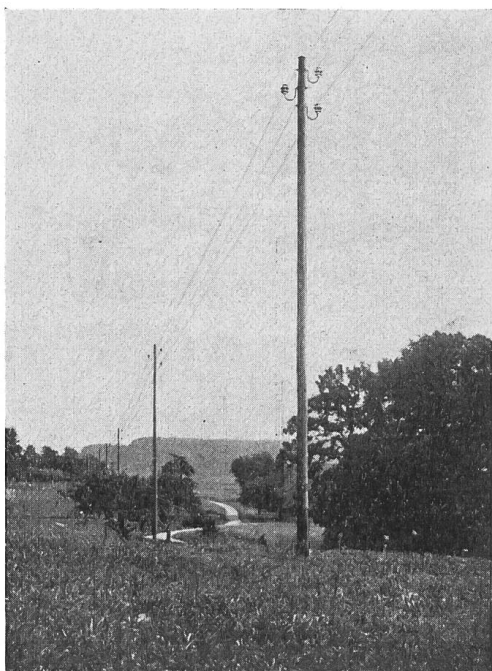


Fig. 4. Ligne à 32 000 volt. 7 poteaux fondroyés.

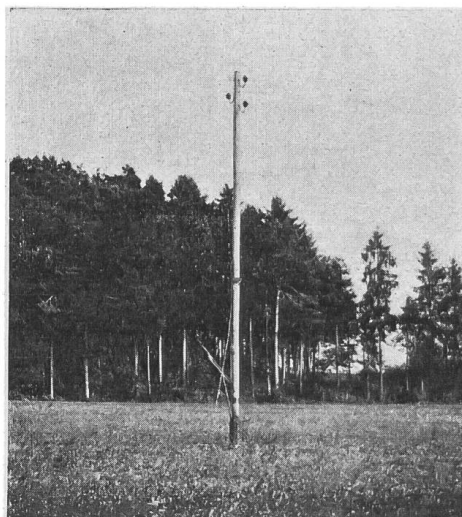


Fig. 5. Poteau fondroyé
esquilles attachées par le sommet.

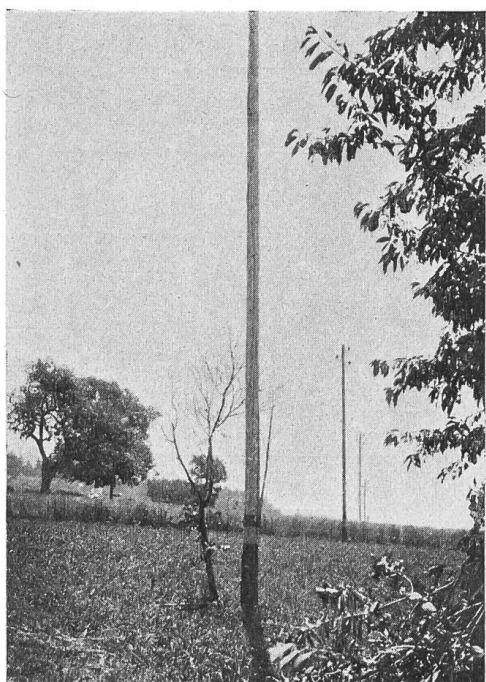


Fig. 6. Poteau fondroyé esquilles attachées par la base.

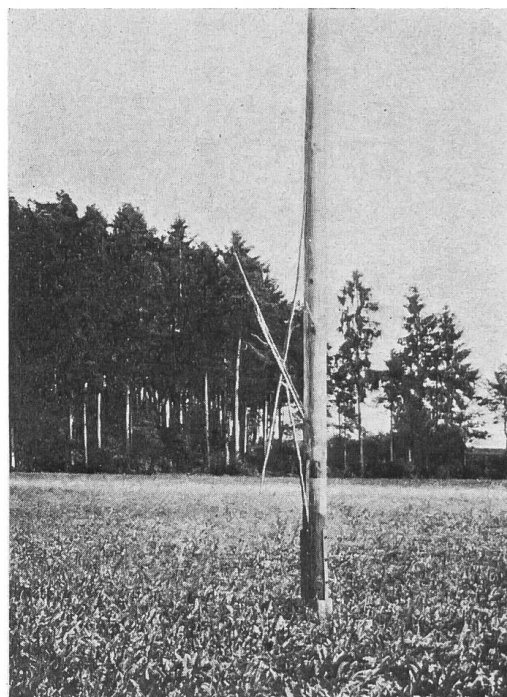


Fig. 7. Poteau fondroyé dans les deux sens.

De plus, chaque groupe de machines fut également protégé par un self d'environ $\frac{1}{20\,000}$ d'Henry. Cette installation, exécutée en 1904 (Fig. 1) montre la disposition du réducteur de courant shunté, la mise à terre des barres et la disposition des selfs. (Voir le schéma de distribution de l'usine de Montbovon (Fig. 2).

Les départs 32000 volts de l'usine de Hauterive furent installés en 1907 et complétés en 1913 (schéma ci-joint Fig. 3). La station se composait de deux départs protégés par des batteries de condensateurs. Les selfs en fer étaient intercalés entre les barres de distribution et les transformateurs, sur la haute tension. Le schéma des installations exécutées en 1912 et 1913, comprend 5 départs, protégés chacun par une batterie de condensateurs, une série de bobines de self et une décharge à jet d'eau d'un débit de 0,02 Amp. disposée en avant des tableaux. Les départs sont reliés sur une série de barres auxiliaires; entre celles-ci et les barres de distribution sont également intercalés des selfs. Une des lignes principales, longue de 50 km, possédant à son extrémité un seul poste également équipé de condensateurs, d'une décharge à jet d'eau et de selfs, a été plusieurs fois frappée par la foudre. La Fig. 4 montre 7 poteaux de la ligne primaire, lesquels furent foudroyés sans qu'il y ait eu répercussion ni à la station de départ, ni à l'arrivée. Il est à remarquer que, presque régulièrement, la distance frappée comprend 7 ou 8 poteaux, soit une longueur de 300 m environ. Sur une partie du parcours, le coup de foudre a défibré le poteau en laissant les esquilles attachées par le sommet, comme le montre la Fig. 5, tandis que sur la partie inférieure de la ligne, la décharge paraît avoir eu lieu de haut en bas, les esquilles étant attachées au poteau par la base, selon Fig. 6. La Fig. 7 montre le poteau du milieu frappé dans les deux sens, de bas en haut et de haut en bas.

On a constaté également, sur une ligne soutenue par des mâts en béton armé, des cas d'isolateurs foudroyés. Alors que la ligne n'était pas sous tension, un isolateur a été complètement perforé (Fig. 8) tandis que les appareils de contrôle montés dans une cabine voisine accusaient un arc de 30 mm de longueur entre pointes, soit d'un ordre de 28000 à 30000 volts.

Rappelons quelques unes des observations relevées le 1^{er} août 1912, sur les appareils installés à la cabine de transformation de Romont, observations faites par ordre et d'après les données de la commission pour la protection contre les surtensions.

La température de ce jour-là était assez élevée. Dans le courant de l'après midi un orage se préparait au nord du lac Léman. La direction des vents était Sud Ouest-Nord Est. L'orage a suivi le territoire compris entre la vallée de la Broye et les préalpes, Gibloux-Berra-Pfeiffe, etc. La ligne primaire Hauterive-Romont, d'une longueur de 18 km, (Fig. 9) est située complètement dans la zone des perturbations; l'orage lui-même était parallèle à cette ligne. A 5 h. 15 l'appareil n° 1 (voir Fig. 10) fonctionna; l'écartement des pointes de zinc dut être porté successivement de 8 mm qu'il était à l'origine, à 34 mm. Le plus long arc amorcé eut une longueur de 32 mm. Il était 6 h. Les coups de foudre se succédaient avec une fréquence si grande qu'on put enregistrer, dans l'espace de 45 minutes, environ 20 décharges. L'appareil n° 2 devant révéler l'existence du courant continu indique que le dépôt de cuivre n'était pas sensiblement supérieur à celui constaté le 25 juillet. L'appareil n° 3, destiné à rechercher l'existence des courants à haute fréquence, marque une fréquence très élevée; en effet, le petit fusible de 0,02—0,03 mm placé avant la self et reliant directement la ligne à la terre, n'a pas claqué, de même qu'aucun des petits drapeaux témoins n'a été endommagé. Le courant a crevé le papier comme une pointe d'une corne à l'autre. Ce phénomène ne s'est produit qu'une fois, à 5 h. 40 min., moment où une décharge directe sur la ligne foudroya un isolateur, à 6 km du point d'observation (Isolateur foudroyé, Fig 8). L'appareil n° 4, appelé à en constater l'intensité, enregistre à 5 h. 55 min. un courant qui fit foudre un fil de 0,1 mm. A 6 h. 15 min., l'orage s'était éloigné de la zone d'observation.

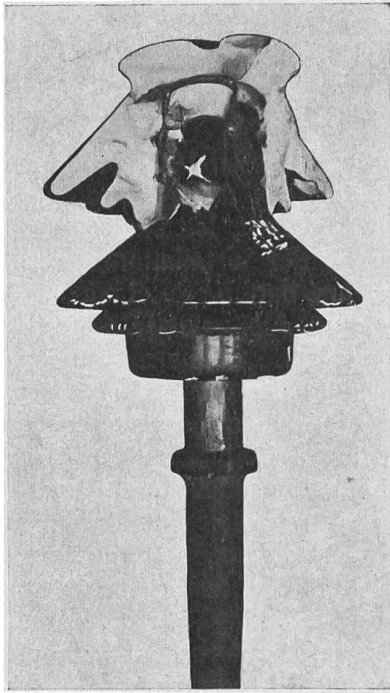


Fig. 8. Isolateur fondroyé. (Union d'essai 90 000 volts.)

Des expériences précédentes, on peut conclure que :

- a) Les charges inductives existant sur des lignes de n'importe quelle tension de service peuvent atteindre des potentiels très élevés, voire même 25 000 volts environ, comme surtension.
- b) Ce courant peut être à très haute fréquence; car il n'a jamais produit d'arc durable entre les cornes d'écartement, de 6 mm mais seulement des aigrettes électriques.
- c) L'intensité du courant induit a été suffisante pour fondre avec explosion violente un fil de 0,1 mm, l'arc produit se soufflant à la pointe des cornes dont les extrémités étaient écartées de 0 m 700.
- d) On peut remarquer aussi que, pendant l'orage lui-même, il n'y a pas eu de charge statique enregistrée, et que la formation de courant continu a précédé l'orage.
- e) Il est intéressant de noter que pendant toute la durée des expériences, le fil No. 1 de la ligne était à la terre, ce qui n'a pas empêché des phénomènes violents de se produire sur les deux autres fils.

3. Phénomènes électrostatiques sur les isolateurs.

Des constatations intéressantes furent faites sur les isolateurs des lignes 32 000 volts. En 1907, lors de la construction de la ligne à haute tension Hauterive-Neuchâtel, la station d'essai des matériaux de l'Association Suisse des Electriciens, à Zürich, chargée de l'expertise des isolateurs à 5 cloches, type prévu, communiqua les observations suivantes :

Premier essai. Les isolateurs furent placés sous une pluie verticale de 3 mm de hauteur à la minute. Une des bornes du transformateur était reliée avec le support de

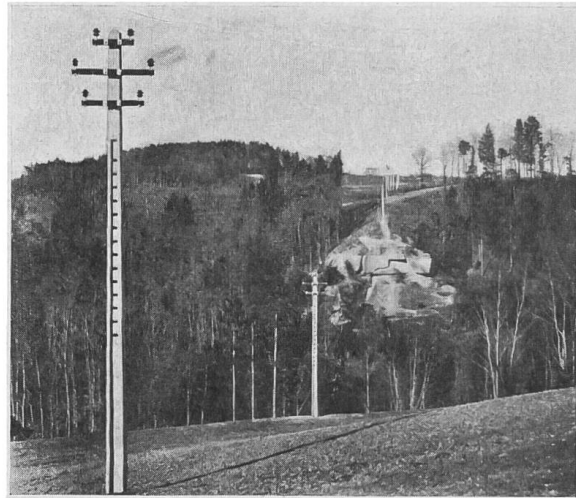


Fig. 9. Ligne 32 000 volts sur mât en béton Houterive-Romont.

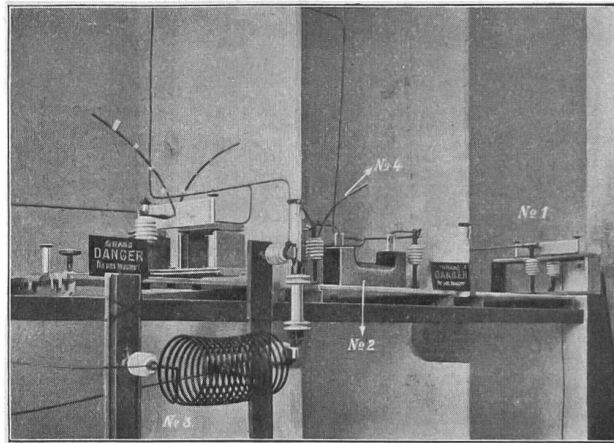


Fig. 10. Cabine 32 000 volts Romont. Appareils de contrôle.

l'isolateur, et l'autre avec le fil fixé dans la gorge de l'isolateur. Le courant était triphasé, 50 périodes. La station d'essai des matériaux releva les observations suivantes :

- a) Essai sur tige droite: première étincelle: 50 500—53 000 volts; étincelle durable: 58 500—59 000 volts.
- b) Essai sur tige recombée: première étincelle: 53 000—55 000 volts; étincelle durable: 57 500—59 000 volts.

Essai sur l'isolation. Les isolateurs furent plongés, renversés, jusqu'à la gorge, dans une solution de soude, et les cloches intérieures baignées dans la même solution. Le bain extérieur ayant été relié avec l'un des pôles, et le support droit de l'isolateur avec l'autre pôle du transformateur à haute tension, les isolateurs résistèrent ainsi à une tension de 65 000 volts pendant une heure. Suivant les normes provisoires de l'Association, l'isolateur à 5 cloches à support recourbé, paraissait suffire à une tension de service de 33 000 volts.

Cependant, après quelques années de service, plusieurs interruptions de courte durée entravèrent l'exploitation de la ligne, sans qu'aucune cause apparente n'indiquât une possibilité de déclenchement. La ligne fut surveillée sous tension de jour et de nuit. Bientôt on remarqua qu'une partie des isolateurs bruissaient, et, la nuit, dégageaient des effluves lumineux sur la cloche supérieure. Ils furent remplacés, et les interruptions disparurent aussitôt. Les expériences faites par la station d'essai des matériaux à Zurich démontrèrent que la nature de ces isolateurs avait complètement changé. En effet, les isolateurs neufs ne dégageaient pas d'effluves à 55 000 volts, et l'arc ne s'amorçait qu'à 90 000 volts de la gorge à la ferrure droite du support; tandis que les isolateurs usagés bruissent déjà à 17 000 volts, et que l'arc éclate à 64 000 volts, de la gorge à la ferrure, au travers de la porcelaine entre la première et la deuxième cloches. Un isolateur neuf sortant du magasin et soumis aux mêmes essais, a corroboré en tous points les expériences de 1907.

On peut conclure de ce qui précède, qu'après un temps variable de service :

- 1) les isolateurs ne présentent plus les mêmes garanties d'isolement qu'au début;
- 2) il se forme à 17 000 volts un léger bruissement à la gorge, phénomène que ne présentent pas les isolateurs neufs;
- 3) à 32 000 volts, le bruissement est considérable, la gorge, lumineuse sur toute sa surface, et des effluves passent de la cloche supérieure à la cloche inférieure;
- 4) l'arc amorcé de 55 000 à 60 000 volts n'a jamais sauté de la gorge de l'isolateur à la ferrure sur tige droite, mais par contre a crevé entre les deux cloches. L'isolateur étant neuf, l'arc s'amorce à 90 000 volts seulement de la gorge à la ferrure.

Il semble résulter des faits ci-dessus qu'une matière isolante peut, sous certaines influences électro-chimiques non encore déterminées, être transformée en matière conductrice. Il est incontestable, dès lors, que les isolateurs sont un danger constant et peuvent devenir la cause de nombreuses perturbations.

Un cas non moins intéressant a été observé sur cette même ligne, dans les isolateurs traversant une pièce métallique (isolateur d'entrée de transformateur et isolateur de passage dans la cabine). Lors de coups de foudre ou de fortes décharges, il arriva que l'un ou l'autre de ces isolateurs furent crevés. Leur étude minutieuse fit découvrir qu'à l'intérieur, sur la partie conductrice du fil, il y avait des traces d'azotate de cuivre. Ces isolateurs de traversée sont construits de la manière suivante (Fig. 11): Le conducteur est recouvert d'un isolement de micarta d'environ 1 cm d'épaisseur, le tout logé dans l'isolateur de porcelaine,

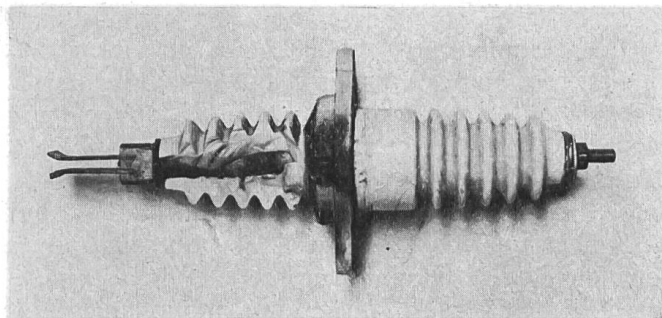


Fig. 11. Isolateur de traversée 32 000 volts.

et résistant à une tension de 90 000 volts. Sur les isolateurs encore en bon état, des effluves continus passent entre le conducteur et la porcelaine, produisant de l'ozone et des vapeurs nitreuses qui, à la longue, rongent complètement le conducteur et transforment la porcelaine. Le laboratoire cantonal de chimie examina un de ces isolateurs de traversée défectueux, et trouva sur sa paroi intérieure, ainsi que sur le tube de micanite, de forts dépôts d'acide azotique. (Voir Fig. 12 ci-annexée.) L'isolateur a dû, dans ce cas, fonctionner comme un condensateur, la ligne formant une des armatures, la partie métallique une des autres armatures à la terre, l'air et la porcelaine le diélectrique. En remplissant complètement les isolateurs d'une masse isolante qui interdit toute présence d'air et la formation d'effluves, l'inconvénient ci-dessus est désormais supprimé.

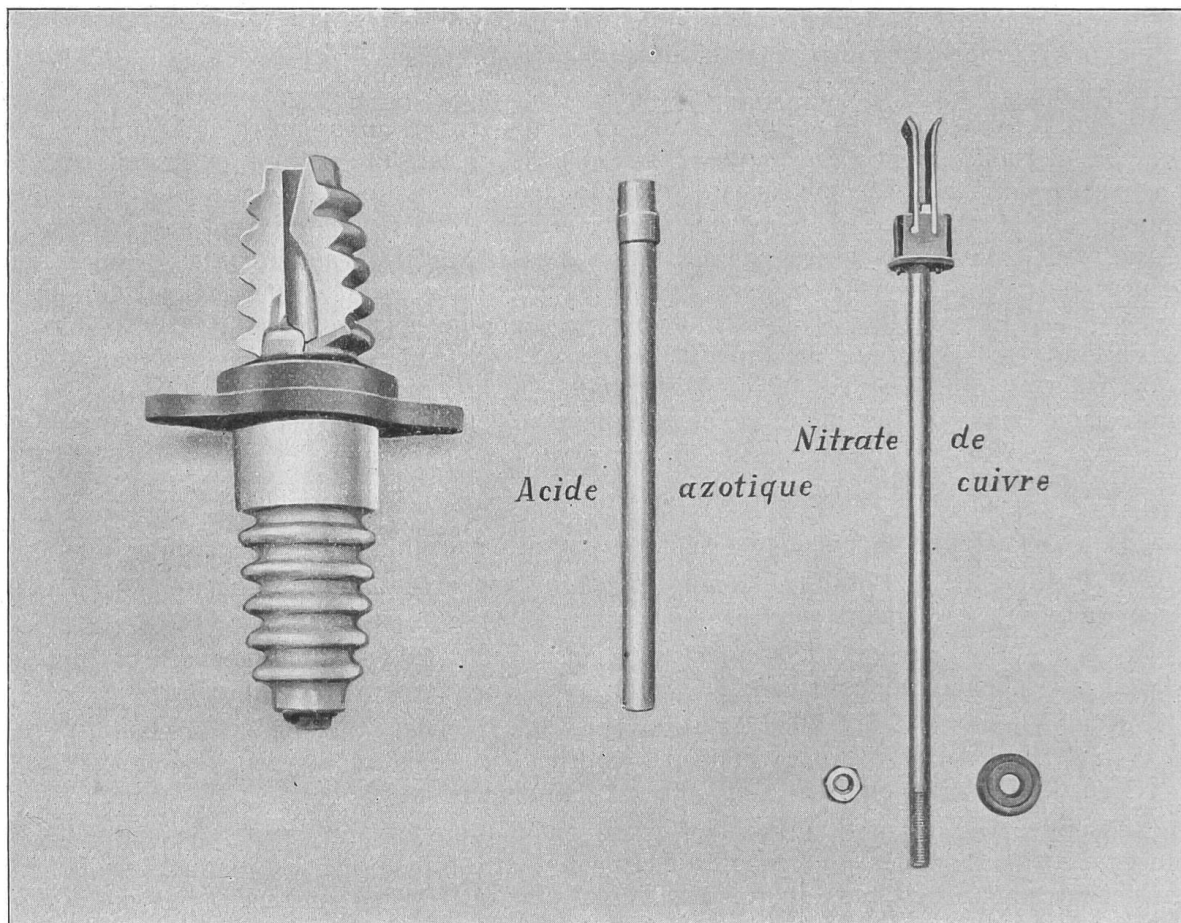


Fig. 12. Isolateurs de traversée 32 000 volts, Hauterive.

4. Statistique des dégâts causés par les orages de 1908 à 1913.

Les documents relatifs aux cas de surtension enregistrés sur les réseaux de Hauterive, réunis et coordonnés, depuis l'année 1908 à ce jour, ont permis d'établir nettement la valeur des différents systèmes de protection expérimentés sur les lignes à haute et à basse tension. A l'origine, et comme nous l'avons dit précédemment, tous les postes étaient protégés par des cornes et résistances en série. Mais leur efficacité ayant paru très contestable, les postes le plus souvent atteints furent munis, dès 1904 et 1905, de condensateurs avec bobines de self. Les résultats obtenus ne tardèrent pas à démontrer la supériorité de ce nouveau système de protection, dont l'usage se généralisa. En 1908, année où des observations sérieuses, suivies et méthodiques, commencèrent, la moitié seulement des postes de protection avaient gardé leurs appareils primitifs. Il faut noter cependant que presque tous les transformateurs des réseaux sont du type à refroidissement naturel dans

l'air. En effet, sur 182 transformateurs, une vingtaine seulement sont à refroidissement dans l'huile. Les observations relevées en 1908 sont encore incomplètes et concernent spécialement les postes protégés par condensateurs. C'est ce qui explique le fait que 5 accidents furent enregistrés sur les postes munis de condensateurs, et 5 seulement sur les postes protégés par cornes.

En 1909, les observations, beaucoup plus générales cependant, furent faites sur les postes anciens et nouveaux, mais de préférence encore sur ces derniers. Il n'est pas inutile de remarquer que, fonctionnant depuis nombre d'années déjà, sans avoir été jamais révisés, la plupart des transformateurs étaient défectueux. Aussi, dès l'automne 1909, furent-ils complètement vérifiés et remis en état. Les parties du réseau le plus exposées furent munies du nouveau système de protection, ce qui élève à la proportion de 2 à 3 le nombre de postes à condensateurs.

En 1910, durant les 20 jours d'orage qui ont sévi, 171 postes ont subi des avaries telles que bobines crevées, fusibles fondus, accidents dans les réseaux secondaires; mais des 75 postes à condensateurs atteints, 5 seulement ont été foudroyés, tandis que la proportion des transformateurs à cornes brûlés est de 34 sur 87.

Au cours des 31 jours d'orage qui ont menacé le réseau de Haute-riive en 1911, furent atteints 94 postes, 19 transformateurs type ancien avariés, et 7 transformateurs à condensateurs seulement.

L'année 1912, qui compte 24 jours d'orage, accuse 133 postes inquiétés, 33 avaries sur cornes et 11 sur condensateurs.

En 1913, alors que la proportion des parafoudres à cornes n'était plus que de 1 à 4 soit de 30 contre 102, les orages, au nombre de 36, ont mis en danger 123 postes, dont 9 transformateurs protégés par cornes et un seul transformateur protégé par condensateur.

Statistique des dégâts causés par les orages de 1908 à 1913 inclusivement.

Résumé synthétique.

ANNÉES	Nombre d'orages	Nombre de postes atteints		Genres de protection		Cabines — Transformateurs										Réseaux				Parasurtension brûlées	Interrupteurs automatiques brûlés	Câbles crevés	Poteaux foudroyés
						Bobines brûlées		Fusibles brûlés		Condensateurs		Parafoudres à corne et Résist. hydr.		500 volts		second.							
						Primaires		Secondaires	Primaires	Secondaires	Fusibles brûlés	Tubes cassés	Cornes brûlées	Tubes R. H. cassés	Fusibles brûlés		Transformateurs brûlés	Rouleaux brûlés					
						Protégé par cornes	Protégé par condensateurs																
1908	9	76	39	24	5	5	2	60	9	22	6	2	1	75	1	6	225	3	1	1	—		
1909	10	55	26	25	7	5	3	53	2	51	34	5	—	67	6	—	170	—	—	1	—		
1910	20	171	75	87	34	5	2	240	24	37	21	10	2	231	2	20	595	7	2	3	8		
1911	31	94	33	47	19	7	1	130	5	2	—	—	2	67	4	—	143	—	—	—	5		
1912	24	133	66	66	31	11	13	242	87	64	7	2	1	66	1	1	344	12	2	3	39		
1913	36	123	63	60	9	1	6	185	4	44	2	—	6	123	4	1	353	5	—	5	4		
1908 à 1913	130	652	302	309	105	34	27	910	131	220	70	19	12	629	18	28	1830	27	5	13	56		

Nous remarquons dans le tableau récapitulatif que, de 1908 à 1913, il y eut 130 jours d'orages et 652 postes atteints, portant à 105 le nombre des transformateurs avariés malgré leur protection par cornes, et à 34 ceux protégés par condensateurs, ce qui représente, à l'avantage de ceux-ci, une sécurité de 9 à 1.

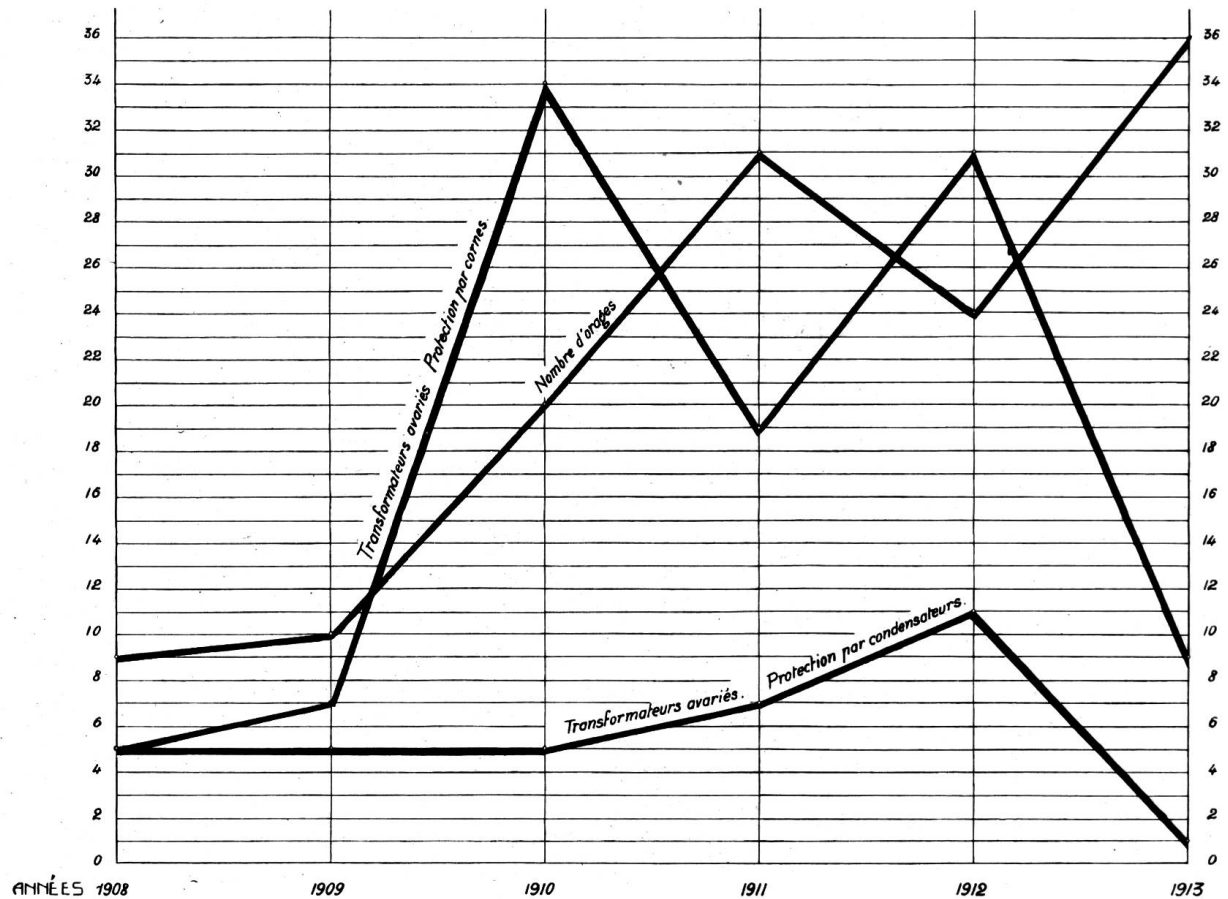


Fig. 13. Entreprise Thusy-Hauterive.

Graphique comparatif du nombre d'accidents produits par coups de foudre survenus dans les stations de transformateurs protégées par parafoudre à cornes, condensateurs et bobines de self.

Un certain nombre des accidents enregistrés peuvent être attribués aux réseaux secondaires. On sait en effet que, en général, sur chaque poste de distribution 8000/500 volts, sont raccordés de 8 à 10 km de lignes 500 volts. Sur ces réseaux de tension moyenne, sont embranchés les petits transformateurs 190/110 volts servant à l'éclairage des villages et hameaux. Il doit ainsi nécessairement se produire de très fortes surtensions sur ces lignes qui, mises en court-circuit pendant l'orage, fondent, par leur débit intense, les fusibles primaires et secondaires qui les protègent. Si, comme l'indique le tableau, il a pu y avoir 910 fusibles brûlés sur primaire, 131 sur secondaire des transformateurs et 629 sur réseaux 500 volts, il est évident que la fonte des fusibles primaires provient de courts-circuits sur les lignes de tension moyenne. Il s'est produit notamment, et en très grand nombre, des cas de déflagration violente sur le réseau des villages situés dans les contrées montagneuses, où on enregistra leur mise à terre très rapide et 1830 fusibles d'entrée fondus. Les réseaux à basse tension sont protégés par des rouleaux syst. Würtz, à 2 distances explosives, le rouleau médien étant en charbon et les autres en laiton. Les surtensions produites sur les réseaux 500 volts s'écoulent beaucoup plus facilement à la terre que celles des lignes à haute tension. Les isolateurs étant de petite dimension, l'arc s'amorce, à 20 000 volts déjà, de la gorge à la ferrure.

Les surtensions dont il a été question dans la première partie de cette étude, et qui furent enregistrées sur des lignes à 32 000 volts de tension normale, peuvent bien se produire sur des réseaux de tension secondaire d'exploitation. Mais, comme les isolateurs ne peuvent les supporter, elles s'écoulent à la terre ou mettent directement la ligne en court-circuit. Ces courants parasites doivent être à haute fréquence et à courte amplitude, les câbles installés en fin de ligne crevant ordinairement à l'entrée. Ce cas spécial s'est

présenté 13 fois, et, dans ce même laps de temps, on a dû remplacer 56 poteaux foudroyés.

Les recherches expérimentales pratiquées dans un grand réseau aérien de distribution électrique, et sommairement exposées dans les lignes qui précèdent, nous amènent aux conclusions suivantes :

1. Dans la zone très difficile et très exposée aux orages de l'Entreprise Thusy-Hauterive, les accidents sur le primaire ont été réduits au dixième de ce qu'ils étaient à l'origine.

2. La plupart des fonctionnements intempestifs d'interrupteurs automatiques étaient simplement dus à des arcs s'amorçant soit par dessus les isolateurs, soit des isolateurs aux ferrures de garde.

3. Il se produit sur le secondaire des surtensions excessivement violentes qui sont, il est vrai, moins dangereuses que sur le primaire, par suite de l'isolation moins grande des lignes, de leur mise à terre plus rapide et de la plus grande sécurité pour la haute fréquence, des bobines secondaires.

4. Il est de toute importance pour les réseaux de distribution de vouer une attention spéciale à cette étude, car, plus les lignes seront construites solidement, bien isolées des conducteurs entre eux et de la terre, et plus il sera nécessaire de veiller à leur protection.

