

# Recherches statistiques et expérimentales dans le domaine des lignes électriques

Autor(en): **Poltier, L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :  
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen  
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes  
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **54 (1963)**

Heft 20

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916520>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Recherches statistiques et expérimentales dans le domaine des lignes électriques

Conférence, donnée à l'Assemblée de discussion de l'ASE le 9 avril 1963 à Zurich,  
par L. Poltier, Lausanne

621.315.1.001.2

## 1. Introduction

Les conférenciers qui m'ont précédé à cette tribune viennent de brosser un tableau déjà très complet du domaine des lignes électriques à très haute tension. Toutefois, l'image que vous allez remporter de cette assemblée doit, à mon avis, contenir encore au moins quelques brefs renseignements sur les efforts inlassables des milliers de spécialistes éparpillés sur les 6 continents et qui, jour après jour, s'appliquent à améliorer notre technique de construction des lignes et à acquérir une meilleure connaissance des phénomènes qui régissent leur comportement.

Ces travaux sont depuis fort longtemps organisés et coordonnés sur une échelle internationale par la CIGRE. Ses deux Comités d'Etudes (CE), qui nous intéressent tout particulièrement aujourd'hui, s'occupent des lignes électriques aériennes en général, CE 6, et de l'étude des pylônes et des fondations, CE 7. Sans vouloir m'attarder plus longuement à l'organisation de la recherche dans ce domaine, je suis néanmoins obligé de souligner l'ampleur et l'importance des travaux de ces deux Comités d'Etudes de la CIGRE qui constituent, en fait, la source principale de notre documentation extrêmement spécialisée. Par ailleurs, c'est un des meilleurs exemples connus d'une parfaite et immense collaboration bénévole entre les gens de même métier.

## 2. Ordonnances et prescriptions. Recherche statistique

Quelques mots d'abord sur la recherche dite administrative. Ici les données statistiques et le calcul des probabilités jouent un rôle considérable, de même que les essais en laboratoire et les expériences acquises sur les ouvrages terminés. On oublie souvent que toutes les prescriptions et ordonnances concernant les hypothèses à admettre dans le calcul mécanique des ouvrages sont, ou du moins devraient être, basées sur des renseignements fournis par cette branche de recherches.

Ainsi, d'une part, l'office de contrôle fixe, au moyen d'un nombre élevé d'observations, la valeur des efforts extérieurs. Ce sont, dans le cas des lignes aériennes, les données relatives au poids de la surcharge de neige ou de glace agissant sur les conducteurs par une certaine température am-

biante, ainsi qu'à la pression du vent, avec ses coefficients d'application. Remarquons en passant que dans certains pays on doit tenir compte d'une action simultanée de ces deux ou même trois agents extérieurs.

D'autre part, les résultats de recherches en laboratoire forment la base des prescriptions concernant les contraintes admissibles et les coefficients de sécurité imposés aux ouvrages. Les deux sont à la base de tous nos calculs justificatifs et revêtent une importance capitale pour les professions techniques. Leurs valeurs officielles doivent permettre au constructeur une réalisation sûre et économique des ouvrages. Les grandes entreprises d'électricité vouent, de leur côté, une attention particulière à ces problèmes.

Voici un exemple pratique dans le cadre de la recherche statistique privée: la station d'essai de Hornisgrinde, située dans le nord de la Forêt Noire, enregistre d'une manière continue, et ceci depuis 1956, la vitesse du vent, sa pression effective sur les conducteurs et sa direction, les contraintes de vibration et, enfin, le poids de la surcharge agissant sur les conducteurs d'une ligne expérimentale composée de 3 portées de 300 m environ (fig. 1 et 2).

Je prends très rapidement, et un peu au hasard, quelques résultats marquants de ces enregistrements: la vitesse instantanée maximum du vent se situe entre 120 et 140 km/h; les coefficients de réduction de la pression du vent sur les conducteurs simples ou jumelés, dans la gamme des vitesses

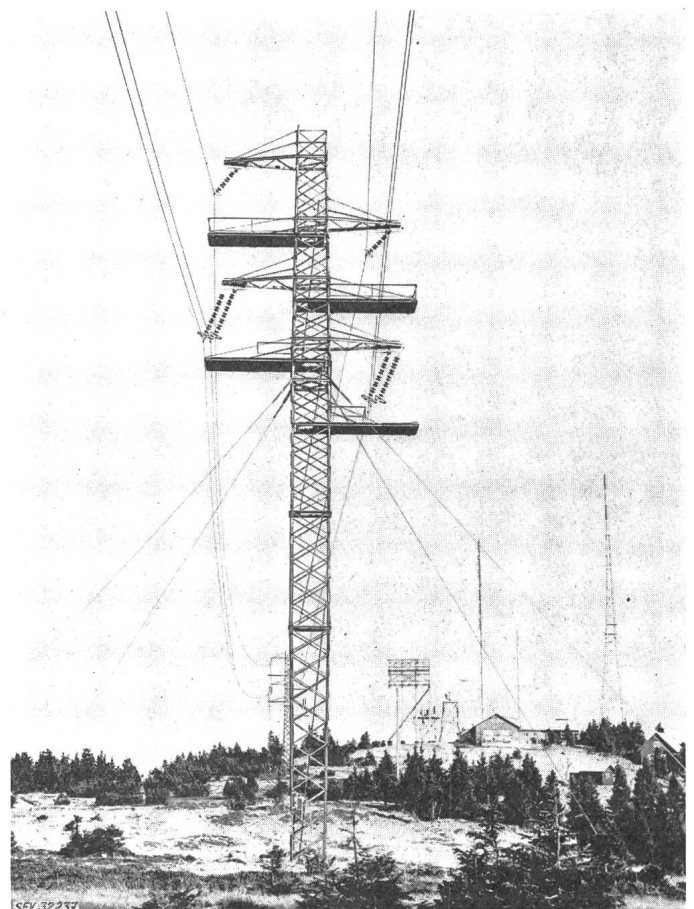
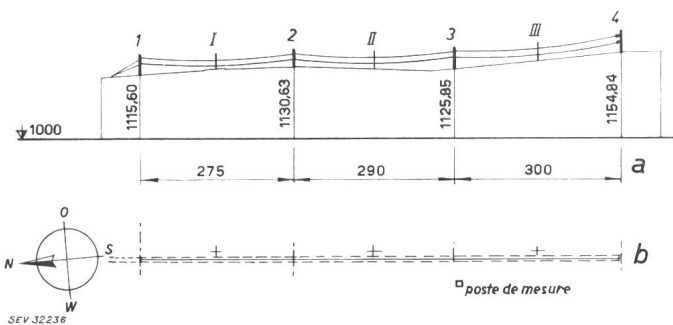


Fig. 2

Vue d'ensemble de la station expérimentale de Hornisgrinde

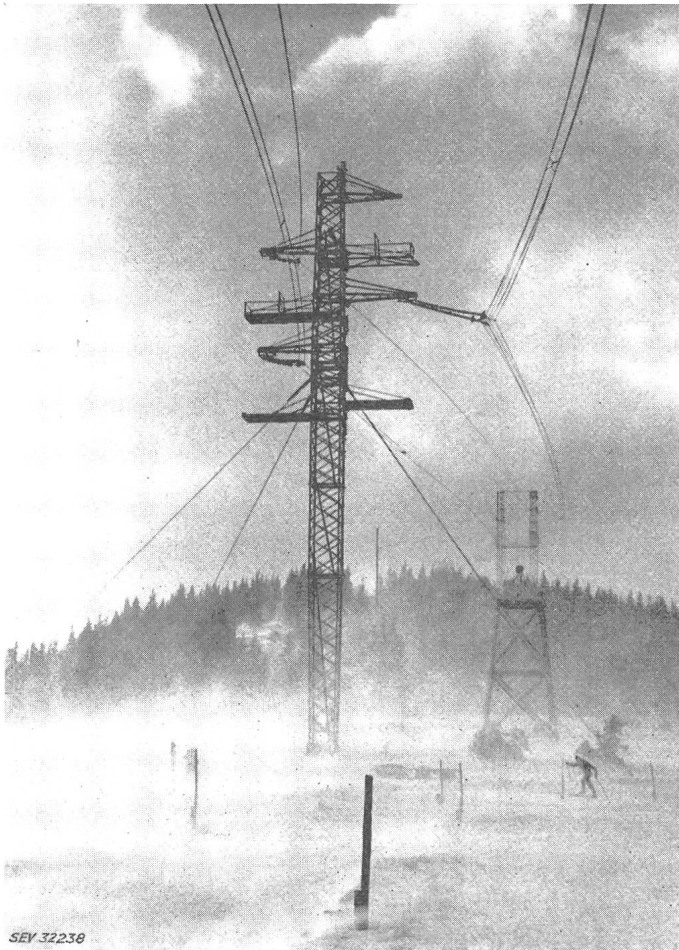


Fig. 3

Vent de l'Est de 30...40 m/s

La composante ascendante de la vitesse diminue le poids propre du conducteur et provoque une très forte déviation. L'angle de déviation des conducteurs s'approche de 90°

intéressantes, varient entre 0,3 et 0,6 et présentent une dispersion considérable. La surcharge de givre, dont le poids spécifique peut atteindre 0,4 et plus rarement 0,5 kg/dm<sup>3</sup>, n'a pas dépassé la valeur de 8 kg/m de conducteur partiel. Par contre, une *action simultanée* du vent et du givre a été relativement fréquente. La pression du vent, rapportée dans ce cas à la section nue du conducteur, atteindrait une valeur 4 à 5 fois supérieure à la pression normalisée.

Ci-contre encore quelques photographies de la station de Hornsgrinde (fig. 3 et 4).

Pour ce qui concerne les coefficients de sécurité, ils constitueront, ces prochaines années, un très vaste champ d'activité de la recherche statistique. Les spécialistes sont d'avis que dans un avenir assez rapproché de *nouvelles idées* au sujet des conceptions fondamentales sécurité-économie prendront corps dans toutes les branches de la technique. Il est encore trop tôt pour développer ici une théorie digne de ce nom, car seuls les premiers jalons de la route à suivre sont en train d'être posés.

Tout d'abord, il s'agira de développer les moyens mathématiques au service de la notion sécurité. La possibilité de traiter rationnellement, chiffres en main, ce problème apparaît aujourd'hui sous forme d'une quantité qu'on appellera «la probabilité de défaut». Une classification détaillée de tous les accidents ou défauts possibles et imaginables qui peuvent arriver dans la vie d'une ligne électrique, depuis l'élaboration

du projet jusqu'au moment du démontage, sera établie. Après l'étude de la distribution des différentes variables aléatoires, qui concourent à produire le *défaut*, celui-ci sera alors doté de *coefficients* exprimant sa probabilité, d'une part, et ses conséquences économiques, d'autre part. Et un jour, encore lointain sur cet éternel chemin vers la perfection, on procédera au choix de la solution économique par le truchement de tels coefficients.

Avant de clore la partie de mon exposé consacrée à la recherche statistique, voici encore quelques exemples typiques dans ce domaine. Prenons, pour commencer, celui de la rupture de conducteurs.

L'exemple d'Amérique, où l'on considérait, parfois, tous les 6 conducteurs rompus par la chute d'un avion, était particulièrement frappant. Les pylônes y sont spécialement lourds et onéreux, en comparaison de certaines lignes en Suisse, qui ne sont calculées qu'à 5 % seulement de la traction maximum des conducteurs et sans tenir compte de la torsion. Placé devant ces deux solutions extrêmes, le Comité d'Etudes de la CIGRE organise en ce moment une enquête internationale sur les expériences vécues en matière de ruptures de conducteurs. Les statistiques provisoires reçues de 14 pays en réponse à ce questionnaire font apparaître les causes suivantes de rupture par ordre de leur importance:

- 40 % l'arc électrique et contournements d'isolateurs;
- 25 % ruptures par des avions et chutes d'arbres;
- 20 % les surcharges exceptionnelles et ouragans;
- 15 % vibrations, défauts de matériel et corrosion, explosions et autres causes diverses non spécifiées.

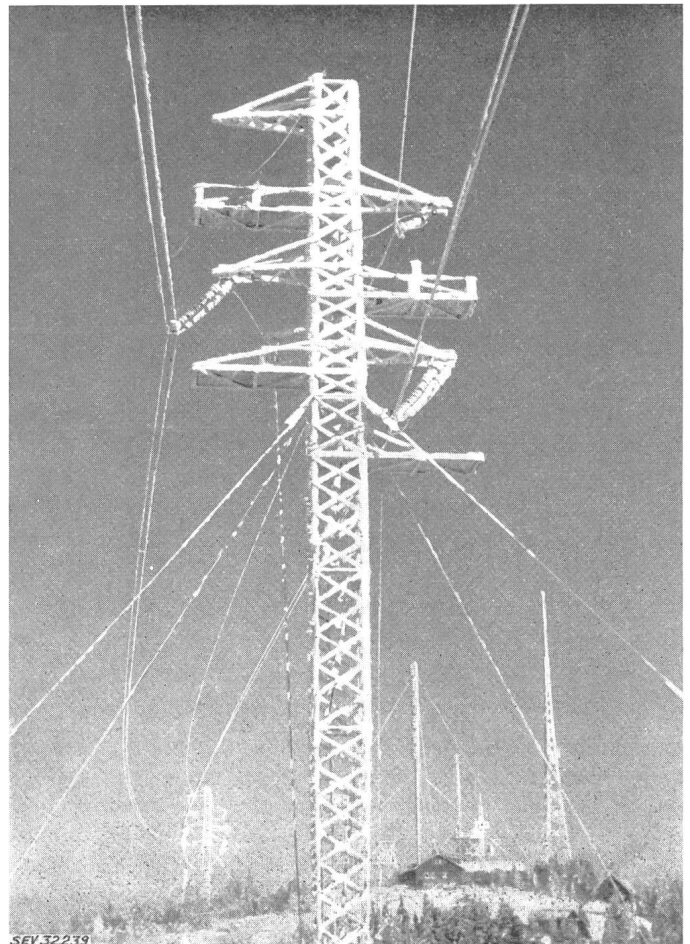


Fig. 4

Action simultanée du vent et du givre sur les conducteurs

Les résultats ne sont pas encore définitifs, loin de là. Il manque une série d'informations importantes telles que l'âge des conducteurs rompus, leur section et la fréquence des ruptures par 1000 km et par an du réseau considéré. Une fois en possession de tous les éléments du problème, nous pourrions alors décider, en meilleure connaissance de cause, de la nécessité réelle d'envisager la rupture d'un conducteur dans le calcul des pylônes d'alignement qui représentent, en moyenne, environ 80 % de la totalité des pylônes érigés en Suisse. Les conséquences économiques d'une telle décision sont, comme vous le voyez, considérables.

Enfin, l'utilité et l'importance des statistiques dans le domaine d'*exploitation* des lignes électriques ont été particulièrement mises en évidence à l'occasion de la 22<sup>e</sup> assemblée de discussion de l'UCS, tenue en 1960 à Lausanne et à Zurich. Faute de temps, je me permets, simplement, de m'y référer.

### 3. Recherche expérimentale

#### 3.1 Pylônes

La solution idéale, représentée par un ouvrage d'égale résistance en tout point et à toute sollicitation envisagée, n'existe pas dans la pratique. La solution optimum serait donc celle où les résistances à la rupture de tous les éléments se rapprocheraient aussi près que possible de la capacité de charge du chaînon le plus faible. Encore faut-il le connaître!

En effet, la réalisation pratique d'un pylône diffère toujours de l'image idéale que représente son calcul théorique. Toute une série d'approximations inévitables, tant dans le schéma statique que dans les hypothèses de la répartition des contraintes et de la transmission des efforts, approximations dont nous sommes souvent conscients, et quelquefois beaucoup moins, *doit* provoquer le désir parfaitement légitime de connaître le comportement réel de l'ouvrage conçu si bien sur le papier. A bien d'autres occasions — transformation d'une ligne existante, vérification d'un ouvrage par les offices de contrôle, recherche et amélioration systématique d'un nouveau type de pylône, etc. — la nécessité se faisait de plus en plus sentir de posséder en Suisse un outil complémentaire de travail dans le domaine des lignes à T.H.T.

Ce nouveau et puissant moyen de contrôle, d'études et de vérification, sous forme d'une station *permanente* d'essai de pylônes et d'autres structures, située près d'Aigle, nous a été fourni en 1955 par l'« Association pour les recherches dans le domaine des lignes aériennes et équipements similaires », dite ARLA. Elle a été constituée par un groupe d'entreprises d'électricité, les CFF et les constructeurs de charpentes métalliques. L'exploitation de cette station est confiée au Laboratoire d'essai des matériaux de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, et dirigée par M. le professeur Paschoud qui est, d'autre part, président du Comité international d'études de pylônes et de fondations de la CIGRE.

L'activité d'ARLA s'étend des recherches d'intérêt général aux essais industriels. Ces derniers ont principalement pour but la démonstration matérielle de la capacité de charge de pylônes travaillant jusqu'à la rupture sous diverses sollicitations. Leurs points faibles sont immédiatement mis en évidence et procurent d'utiles comparaisons avec les calculs théoriques.

La station permet également, au moyen des essais tensométriques, la recherche des contraintes réelles dans les barres les plus sollicitées du pylône. Les phénomènes d'effet secondaire dus, par exemple, à la superposition des moments fléchissants ou de torsion aux efforts normaux, peuvent ainsi être détectés, de même que les contraintes secondaires de montage ou provenant d'une erreur éventuelle de fabrication qui a pu échapper au constructeur lors du montage à blanc. La maîtrise de l'œuvre, ayant acquis la certitude des marges réelles de sécurité dont il dispose dans les différents points, peut alors commencer la recherche de la solution la plus économique en procédant aux améliorations et aux allègements reconnus justifiés.

L'équipement de la station d'essai à Aigle offre la possibilité d'essayer en « grandeur nature » toutes les structures en métal, béton ou bois, jusqu'à 70 m de hauteur, et avec plus de 10 m d'écartement à la base. Le moment de renversement admissible est de l'ordre de 2000 tm environ. A remarquer encore le dispositif spécial pour l'application des charges dynamiques.

Les expériences pratiques acquises par EOS au cours des essais effectués à Aigle sont, essentiellement, de trois natures différentes.

Tout d'abord, dans le domaine de la sécurité, chaque épreuve nous a permis de vérifier le rapport entre la capacité de charge à la rupture du pylône essayé et les efforts théoriques qu'il devrait normalement supporter en service conformément aux ordonnances. Aujourd'hui, après 8 essais à la destruction exécutés par ARLA pour le compte de l'EOS, nous pouvons affirmer qu'aucun essai ne s'est avéré inutile. En effet, au cours de ces expériences, il a été nécessaire d'apporter des modifications et des améliorations à tous les pylônes essayés, sans exception.

Le second aspect des résultats acquis au cours de nos essais de pylônes est celui de l'économie à réaliser. Les lignes à 220 kV, en Suisse romande, se sont construites depuis un peu plus de 12 ans. Pendant ce laps de temps, le coût de la construction n'a pas cessé d'augmenter, mais le poids de nos pylônes ainsi que le volume du béton des fondations étant en nette diminution d'année en année, le prix de revient moyen d'une ligne 220 kV a même subi une baisse sensible entre les années 1954 et 1961. Et ceci malgré l'introduction des conducteurs jumelés en lieu et place des conducteurs simples!

La recherche expérimentale, ayant pour alliée l'utilisation de bons aciers à haute résistance et des cornières à aile mince, a certainement joué un rôle déterminant dans cette évolution. Les essais, bien sûr, paraissent onéreux et prennent beaucoup de temps au personnel déjà surchargé. Pour ma part, je reste toutefois absolument convaincu que cela représente une dépense rentable et nécessaire, si l'on veut réaliser des économies valables.

Enfin, le dernier apport important de ces essais c'est la somme des connaissances nouvelles que seule la recherche expérimentale peut susciter et vérifier. Tant sur le plan purement théorique que pour une multitude de détails pratiques, l'ingénieur chargé du projet d'un nouveau type de pylône réfléchit mieux et réagit avec plus de perspicacité en face d'un prototype en cours de l'essai, que devant une feuille de papier. C'est pourquoi, la foi aveugle dans les calculs autrefois « infaillibles » disparaît au fur et à mesure que la possi-



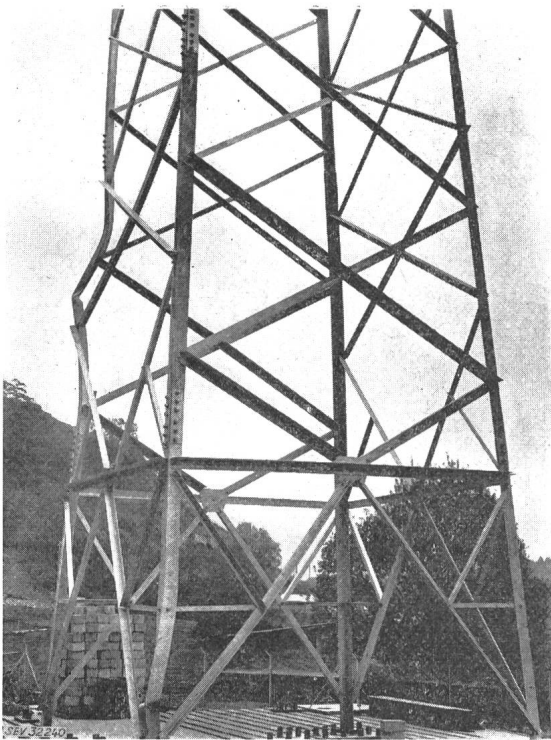


Fig. 5

Exemple d'un flambage imprévu à la station d'essai à Aigle

bilité de vérifier la théorie par l'expérience devient chose courante (fig. 5).

La meilleure preuve de cette discordance systématique entre la théorie et le comportement réel des ouvrages réside dans la dispersion des contraintes critiques effectives de flambage résultant des expériences. La SAE, Société Anonyme de l'Electrification à Milan, sur la base des 1077 essais de pylônes effectués dans la station de Lecco pendant une douzaine d'années, est arrivée à la conclusion que seule la courbe pratique de flambage peut constituer l'instrument de

travail valable pour calculer correctement les pylônes. D'ailleurs, cette courbe des flambages obtenus s'est rapidement transformée, avec le nombre croissant des essais et la dispersion des résultats enregistrés, en une zone de flambage effective que j'ai l'avantage de vous montrer sur la fig. 6.

Voici pourquoi tous les projets importants de nouveaux types de pylônes se font, actuellement, en étroite collaboration avec les stations d'essais et, directement ou indirectement, sur la base des renseignements fournis par la recherche expérimentale.

Une mention spéciale mérite encore l'essai sur les maquettes de pylônes au 1 : 10, par exemple, telles que l'EdF les construit actuellement dans son centre de recherches à Fontenay. Ce genre d'essai est destiné à l'étude de certains problèmes particuliers et nécessite un matériel et une technique de fabrication, de montage et de mesure appropriés.

A ce rapide tour d'horizon au sujet de la recherche dans le domaine des pylônes appartiennent également les enquêtes internationales en cours: enquête relative aux avantages et aux inconvénients des pylônes haubanés et des pylônes rigides; enquête sur les résultats d'essais et les expériences faites avec de nouveaux types de pylônes; enfin, le questionnaire sur les hypothèses admises dans les différents pays pour l'établissement des projets de lignes. Ainsi nous pouvons espérer que dans quelques années le problème des pylônes sera sensiblement éclairci.

### 3.2 Fondations

La situation est très différente dans le domaine des fondations. Par la nature même des terrains qui sont de toutes provenances et de toutes compositions possibles, et du fait de la multiplication constante des types et des formes des fondations, de même que dans les méthodes d'exécution employées, le calcul des fondations de pylônes ne se laisse pas facilement dominer. Tant sur le plan théorique que dans la pratique courante, c'est encore et toujours la branche du

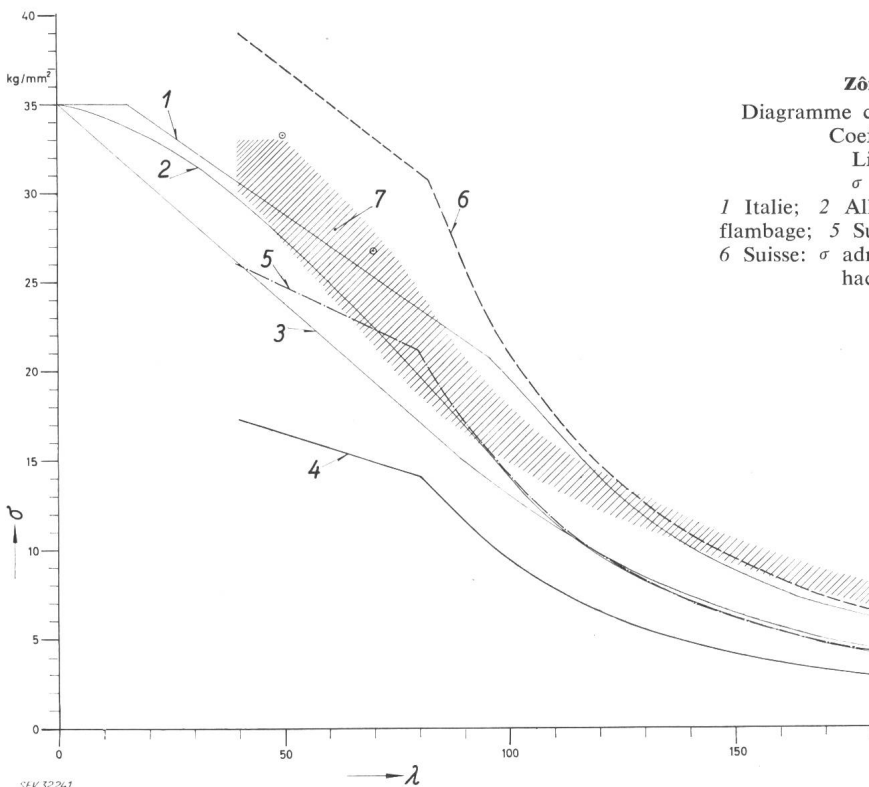


Fig. 6

#### Zône expérimentale de flambage pour l'Ac 52

Diagramme comparatif des courbes critiques de différents pays

Coefficients de sécurité différents

Limite de fluage  $\geq 34 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma$  Contraintes;  $\lambda$  Elancement

1 Italie; 2 Allemagne; 3 Angleterre; 4 Suisse;  $\sigma$  admissibles au flambage; 5 Suisse;  $\sigma$  admissibles  $\times$  coefficient de sécurité = 1,5; 6 Suisse;  $\sigma$  admissibles  $\times$  coefficient de sécurité = 2,25; 7 Partie hachurée = Zône expérimentale de flambage

génie civil qui présente le plus d'aléas et le moins de satisfaction. Essayez de vous représenter plusieurs centaines de petits chantiers, éloignés de 200 à 400 m les uns des autres sur un parcours de 60 à 80 km de long. Vous vous trouverez en présence de terrains sablonneux plus ou moins inondés et compacts, de tourbières, du mauvais rocher en surface, d'argiles de toutes sortes et de toutes les couleurs, de remblais, de vase, de limons mélangés avec un peu de tout, etc., etc.

Vous savez qu'aujourd'hui nous construisons des lignes là où l'on nous laisse passer, et non pas où nous voulons passer. Par conséquent, nous devons trouver des solutions sûres et économiques pour chaque cas qui se présente. Si la sécurité peut, presque toujours, être atteinte par l'augmentation de la profondeur des fondations et le volume du béton mis en place, le problème de l'économie est beaucoup plus difficile à résoudre. Car, il faudrait connaître assez exactement le comportement réel de chaque fondation, c'est-à-dire son *diagramme effectif* charge-déplacement-temps, pour que le coefficient de sécurité exigé soit bien respecté. Et comme il est matériellement impossible de procéder, à chaque emplacement de pylône représentant un cas particulier, aux épreuves de charge d'une fondation provisoire pour déterminer les dimensions nécessaires de la fondation définitive, il ne nous reste pas d'autre issue que d'admettre les coefficients de sécurité très élevés, mais dont on ignore la valeur exacte; autrement dit de construire trop fort et sacrifier l'économie au profit de notre tranquillité.

Pourtant, un travail acharné se poursuit au sein de la Commission Internationale d'Etudes des Fondations, depuis sa création en 1954, en vue de connaître le comportement réel de tel ou tel type de fondation dans des terrains qui sont bien définis par leurs caractéristiques géotechniques essentielles et classés selon une nomenclature standard de Casagrande ou celle, plus élémentaire, de Vanner.

Il est vrai qu'un nombre impressionnant de formules «nationales» pour le calcul des fondations encastrées et travaillant au *renversement* existait bien avant cette date. La formule suisse, due aux recherches de M. *Sulzberger*, est toujours valable chez nous, alors que les Belges ont celle de M. *Vandepierre*; les Anglais ont la leur; il existe encore une formule française, italienne, suédoise, et j'en oublie. Chacune de ces formules avait rendu d'éminents services dans son pays respectif, mais n'était nullement acceptée ailleurs. Elles manquaient toutes, à mon avis, des justifications expérimentales suffisantes en vraie grandeur et dans des terrains extrêmement variés que la nature nous met à disposition.

Il est vrai aussi que les études très approfondies et plus d'un millier d'essais sur des modèles réduits placés dans un terrain idéal pulvérulent (sable de Mol très homogène) ont déjà permis aux Belges d'obtenir de remarquables résultats en laboratoire. Mais il fallait en plus procéder aux essais avec des fondations réelles, à des milliers et des milliers d'essais situés dans ces terrains même où les lignes allaient se réaliser. Devant l'ampleur de cette tâche et les sacrifices financiers énormes qu'elle exigeait, la Commission d'Etudes des Fondations a fait appel à la collaboration internationale. Un programme détaillé, contenant les dessins de près de 300 fondations différentes à essayer dans des terrains divers a été envoyé aux pays membres de la CIGRE, chacun pouvait choisir les essais qui lui convenaient le mieux.

A ce jour, seulement 300 à 400 essais «grandeur nature» ont été exécutés sur des fondations encastrées, et nous n'avons progressé que dans la connaissance des difficultés qui nous attendent à l'occasion des tentatives en vue d'établir des formules généralisées plus précises. Il est apparu, en effet, que les sols *pulvérulents* et les *terrains à cohésion* offrent des résistances au renversement de caractère très différent. Si les premiers travaillent surtout grâce aux frottements, en réalisant des moments stabilisateurs qui varient avec le

*cube* de la profondeur, avec les dimensions du bloc, et sont peu dépendants de la vitesse d'application de la charge, les sols essentiellement cohérents y sont par contre très sensibles; l'influence de la teneur en eau et des dimensions horizontales du socle y est également plus forte. Leur résistance, d'autre part, semble être proportionnelle *au carré* de la profondeur, et le centre de la rotation se situe légèrement plus haut que dans les sols sans cohésion. Le coefficient de sécurité, enfin, doit tenir compte des déformations très importantes qui apparaissent inévitablement dans les terrains cohérents sous l'influence des charges de longue durée. Quant aux fondations dans des *terrains mixtes*, ceux que l'on rencontre le plus souvent dans la pratique, ces terrains révèlent la présence sensible des deux caractéristiques essentielles — à la fois de la cohésion et du frottement —. Leur comportement, malheureusement, ne peut pas être assimilé à celui dû à la somme des deux résistances, mais semble plutôt obéir tantôt à l'une et tantôt à l'autre de celle-ci suivant la profondeur, la forme du socle et la vitesse de charge. L'abondance des paramètres variables est très gênante ici et conduit, par exemple, les chemins de fer français à adopter une *formule empirique* basée sur plus de 200 essais. C'est un dérivé de la formule belge, et son résultat réel, selon M. Lazard, Paris, se situerait entre 0,7 et 1,4 de la valeur calculée. Il peut donc varier du simple au double! L'influence de la nature du terrain et de ses caractéristiques géotechniques peut, toujours d'après M. Lazard, être *négligée*. Personnellement, je pense qu'il faut encore attendre des précisions expérimentales nouvelles avant d'abandonner tout espoir d'arriver à des prévisions plus précises avec l'aide de la géotechnique.

Cela est également valable pour les fondations travaillant à l'*arrachement*, utilisées couramment avec des pylônes d'un grand empattement et aux pieds séparés. Ce sont des fondations sûres et économiques; elles connaissent une faveur toujours plus grande et font actuellement l'objet de nombreuses études et d'essais dans le monde entier. Motor-Columbus les préconise d'ailleurs depuis de très longues années et, en collaboration avec l'EPF, a procédé à une vaste campagne expérimentale pour vérifier sa nouvelle formule, très pratique, du calcul au cisaillement. Elle a déjà avantageusement remplacé chez nous celle du cône soulevé, mais implique une connaissance plus précise de la contrainte admissible de cisaillement et des déplacements sous charge.

Pour ce qui concerne la recherche dans ce domaine, un immense travail se poursuit en laboratoires français, italiens et belges, afin de donner une base scientifique à la théorie généralisée, encore en gestation. Plusieurs milliers d'essais sur des modèles réduits de toutes les formes et de toutes les dimensions ont déjà été effectués dans des terrains pulvérulents purs, sans cohésion, comme première étape d'un vaste programme. L'importance indiscutable du quotient «profondeur/dimensions de la base» a été mise en évidence, et une formule pour le sable sec a été proposée. Parallèlement, des centaines d'essais sur les fondations à l'arrachement en vraie grandeur se font en Finlande, en France, en Italie et un peu partout ailleurs, pour établir les lois de la similitude et afin de pouvoir mieux tenir compte de la nature des terrains réels. Des appareils, soit pour déterminer sur place les caractéristiques géotechniques du sol, soit pour en estimer, avec une approximation suffisante, la contrainte moyenne de cisaillement ou de compression admissible, sont apparus

sur le marché. Les sondages et prélèvements d'échantillons à chaque emplacement de pylône deviennent une pratique courante chez les constructeurs de lignes. Mais il reste encore énormément à faire, et je me permets de vous transmettre ici l'appel de la CIGRE à toutes les bonnes volontés en vue de collaborer aux essais des fondations en cas de démontage de certaines vieilles lignes, par exemple, ou dans d'autres circonstances favorables.

Avant de terminer ce chapitre des fondations, il faut également mentionner l'emploi de plus en plus généralisé des pieux. Leurs calculs, basés essentiellement sur les résultats des essais de pénétration ou de battage, ressortent d'une branche fortement spécialisée du génie civil, et je me contenterai simplement de les rappeler à votre mémoire. Bien sûr, les essais d'arrachement de gros pieux sont encore plus onéreux que ceux des fondations courantes. Mais cela ne peut en aucun cas rendre ces essais moins nécessaires. En effet, le comportement réel des pieux à la traction est relativement

peu connu et réserve souvent des surprises désagréables dans les terrains particulièrement mauvais, précisément là où les pieux sont indispensables.

Il m'est malheureusement impossible, dans le cadre du présent exposé, de faire davantage que cette brève orientation, sans prétention aucune. Qu'il me soit permis de constater, en guise de *conclusion*, et une fois de plus, que les efforts déployés par la recherche statistique et expérimentale ont déjà porté de très beaux fruits dans le domaine des lignes électriques à T.H.T. Mais, beaucoup de problèmes attendent des solutions plus rigoureuses que celles que nous connaissons aujourd'hui. Soyons donc conscients des vastes possibilités que la recherche possède pour nous venir efficacement en aide et ne lui refusons pas la bienveillante compréhension qu'elle mérite pleinement.

**Adresse de l'auteur:**

L. Poltier, Chef de services des lignes, S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne.

## Lebensdauerverlängerung regelbarer Kondensatorbatterien

Von P. Hochhäusler, Berlin

621.356 : 621.319.4

Die stufenweise Regelung der Kondensatorbatterien erfolgt im allgemeinen in der Weise, dass die einzelnen dreiphasigen Einheiten einer Gesamtbatterie entweder von Hand oder mittels Blindlastregler selbsttätig zu- und abgeschaltet werden. Die einzelnen Kondensatoren sind dabei jeweils mit der vollen Betriebsfeldstärke beansprucht. Bei einer Unterteilung der Batterie in  $n$  Stufen sind zur Zu- und Abschaltung der Einzelkondensatoren auch  $n$  Schalter erforderlich.

Demgegenüber wird vorgeschlagen, das Dielektrikum der Gesamtbatterie möglichst in allen Stufen zur Leistungsbildung heranzuziehen. In 2 Stufen ist dies, wie noch erläutert wird, nur zum Teil möglich. Dadurch ist das Dielektrikum, mit Ausnahme der Volleinschaltung bei der letzten Stufe, nicht mit der vollen Betriebsfeldstärke beansprucht, wodurch die Lebensdauer der Gesamtbatterie beträchtlich verlängert wird. Ausserdem kommt man zur Schaltung der einzelnen Stufen mit weniger Leistungsschaltern aus.

### 1. Aufbau und Unterteilung der Kondensatorbatterie

Für Niederspannungsnetze unterteilt man die Batterie gemäss Fig. 1 und 2 in drei Einphasenkondensatoren, die aus zwei in Serie geschalteten, in einem Gehäuse untergebrachten Einheiten gleicher oder auch ungleicher Kapazität bestehen, deren Mitte herausgeführt ist und von denen mehrere parallelgeschaltet werden können. Für Mittelspannungsnetze verwendet man im allgemeinen Einphasenkondensatoren mit einem Pol am Gehäuse. Im vorliegenden Falle sind daher 6 derartige Einphasenkondensatoren erforderlich, von denen je 2 mit ihrem Gehäuse leitend verbunden sind, deren Gehäuse die Mitte bildet und die auf einem gemeinsamen Isoliergestell stehen. In beiden Fällen hat die Batterie nur 9 Klemmen gegenüber 18 der bisher üblichen Ausführung. Jeder Einzelkondensator bildet die Phasenkapazität der Drehstrombatterie.

### 2. Schaltung der regelbaren Kondensatorbatterie

Mit den herausgeführten 9 Klemmen ist die Regelung der Batterie in den folgenden 8 Leistungsstufen möglich:  $1/12 P$ ,  $1/8 P$ ,  $1/6 P$ ,  $1/4 P$ ,  $1/3 P$ ,  $1/2 P$ ,  $2/3 P$  und  $P$ , worin  $P$  die Leistung der Gesamtbatterie bedeutet. Die Gesamtbeanspruchung des Dielektrikums in allen Stufen, mit Ausnahme

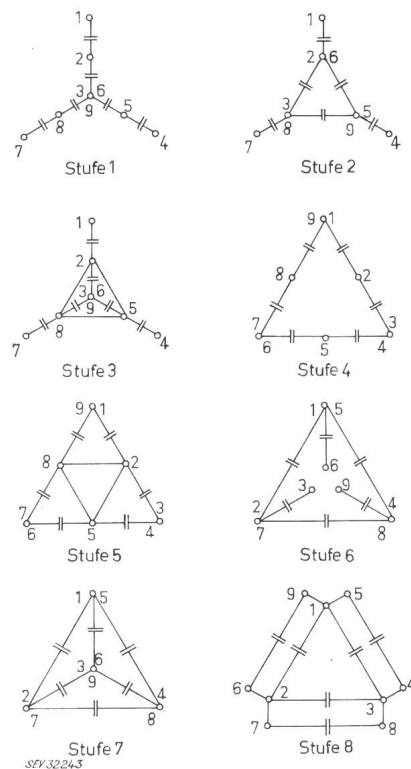


Fig. 1

**Schaltung der 8 Regelstufen**

1...9 Über Deckel herausgeführte Klemmen der drei Einphasenkondensatoren