

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 44 (1953)
Heft: 5

Artikel: Les fusibles et leur normalisation
Autor: Widmer, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058061>

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: 18.01.2025

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

kalischen Experimentierkunst abzuzeichnen beginnen, die sowohl für die Landwirtschaft als auch für die allgemeine Wasser- und Elektrizitätsversorgung von massgebender Bedeutung sein können. Voraussetzung ist aber, dass man vorurteilsfrei, aber ausgerüstet mit der notwendigen fachtechnischen Kritik an die hier sich einstellenden neuen Probleme

und Aufgaben herantritt und sich mit ihnen verantwortungsbewusst auseinandersetzt, um zu einem klaren und sichern Urteil über die wirtschaftliche Nutzung der neuen Methoden der experimentellen Meteorologie zu gelangen.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. R. Sängler, ETH, Sternwartstrasse 7, Zürich 7/6.

Les fusibles et leur normalisation

Par R. Widmer, Genève

621.389.6 : 621.316.923

Exposé des divers genres de coupe-circuit, étude mathématique de leur fonctionnement. Proposition d'une normalisation sur une base rationnelle.

Nach einem Überblick über die verschiedenen Arten von Sicherungen wird deren Arbeitsweise mathematisch untersucht und eine Normung auf rationaler Basis vorgeschlagen.

Préface

Les fusibles constituent un moyen de protection simple et économique des circuits électriques.

Ils permettent d'assurer une protection sélective suivant la puissance et les tensions des circuits, pour de faibles et fortes surcharges, y compris les courts-circuits.

La notion de normalisation doit se limiter à des généralités relatives au dimensionnement et aux caractéristiques de fusion. Une normalisation doit s'appuyer sur les lois physiques qui régissent les fusibles, en liaison avec les réalisations pratiques des constructeurs.

Les différents types de fusibles

Les coupe-circuit à fusibles peuvent se distinguer par leur principe de fonctionnement, par les manifestations extérieures, par les caractéristiques constructives des éléments de montage, de contact, de fixation des pièces de remplacement (cartouches ou fusibles), par le degré de protection et par les caractéristiques électriques.

Les catégories pratiques usuelles sont :

Suivant le montage

1. Montage saillant
2. Montage encastré dans panneau fixe
3. Montage encastré derrière panneau mobile

Les variantes de montages dans les coffrets, armoires, blindages, utilisent l'un ou l'autre des trois types ci-dessus.

Suivant le genre de construction

- a) Fil fusible libre
- b) Coupe-circuit à broches
- c) Coupe-circuit à vis
- d) Coupe-circuit à couteaux
- e) Coupe-circuit à capsules

Le marché offre dans le détail une multitude de variantes de ces différents systèmes. La qualité des coupe-circuit réside dans les points suivants :

Contacts

Pression de contact suffisante assurant un minimum de chute de tension (chute de tension au contact très faible par rapport à celle de l'élément fusible).

Inaltérabilité de la qualité avec le temps (celle-ci est assurée avec les contacts en argent massif, ou munis d'un revêtement d'argent).

Contribution à l'échauffement minimum (l'échauffement doit provenir essentiellement des éléments fusibles; il est inévitable puisqu'il constitue leur principe même de fonctionnement).

Prises de courant

Largement dimensionnées pour assurer une conductibilité — électrique et thermique — convenable. Fixation stable des conducteurs.

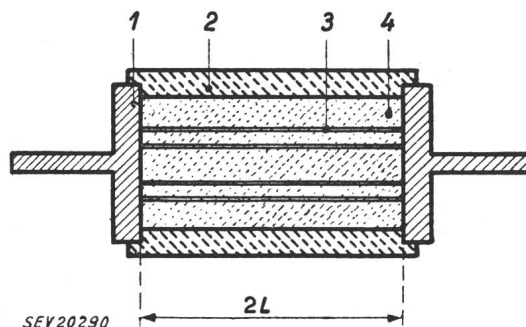


Fig. 1

Coupe d'une cartouche fusible à fusion enfermée
1 couteau-prise de courant; 2 corps de la cartouche;
3 fil fusible; 4 silice

Socles ou boîtiers

Robustes et d'une isolation diélectrique suffisante. Ventilation uniforme pour assurer un comportement et des caractéristiques identiques des éléments fusibles, dans les différents montages. (En effet, un fusible retardé ne doit pas devenir rapide parce qu'enfermé dans un boîtier étanche.)

Éléments de remplacement

Seuls les éléments de remplacement que nous appelons généralement fusibles seront considérés dans la suite. Nous distinguons alors :

- A. Les fusibles à l'air sur un support ou dans une gaine ouverte à l'air
- B. Les fusibles enfermés à remplissage liquide
- C. Les fusibles enfermés à remplissage solide

A. Eléments fusibles à l'air libre

Cette disposition était à l'origine de la conception de la protection par éléments fusibles. Elle n'est plus appliquée du fait de ses faiblesses, sauf peut-être pour des installations d'essais (Puissance de coupure limitée, risque d'accident, incendie, etc.). Réserve faite d'un choix judicieux des coefficients, les principes de fonctionnement sont identiques à ceux des fusibles enfermés.

B. Fusibles enfermés à remplissage liquide

Ce type de construction permet une utilisation pour des tensions très élevées.

C. Fusibles enfermés à remplissage solide

Construction tout à fait classique, d'une application actuelle extrêmement vaste.

Principe de fonctionnement

Un ou plusieurs fils fusibles montés en parallèle dans une enceinte fermée garnie d'un matériau extincteur d'arc. Les fils sont connectés aux prises de courant.

Les fils fusibles sont de section uniforme ou variable suivant les applications. Les matériaux généralement utilisés sont: l'argent, le zinc et le constantan (ce dernier pour les dispositifs de visibilité).

L'organe extincteur est constitué généralement par de la silice granuleuse, d'un grain plus ou moins fin.

Le corps formant l'enceinte comprend une chambre en matière isolante moulée, ou céramique, munie à l'extérieur de contacts de raccordement.

Analyse schématique du fonctionnement d'un fusible

Echauffement d'un conducteur parcouru par un courant électrique

<i>I</i>	courant
<i>q</i>	section du conducteur
<i>u</i>	périmètre du conducteur
α	coefficient de refroidissement à la surface du conducteur et pour le milieu entourant ce conducteur. (Résulte de la conductibilité thermique du milieu extérieur, des phénomènes de convection et de rayonnement.)
λ	conductibilité thermique du conducteur
<i>k</i>	chaleur spécifique du conducteur par unité de volume
ϱ	résistance spécifique du conducteur
Θ	température du conducteur
Θ_A	température du milieu extérieur
$\vartheta = \Theta - \Theta_A$	échauffement du conducteur soit: différence entre la température de celui-ci et celle du milieu ambiant
<i>x</i>	l'abscisse d'une section considérée par rapport à une origine fixée
<i>dV</i>	un élément de volume
<i>t</i>	temps
σ	densité de courant

Le bilan d'énergie d'un élément de conducteur de section uniforme donne l'équation différentielle générale sous forme cartésienne suivante:

$$k q \frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{I^2 \varrho}{q} + \lambda q \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} - \alpha u (\Theta - \Theta_A)$$

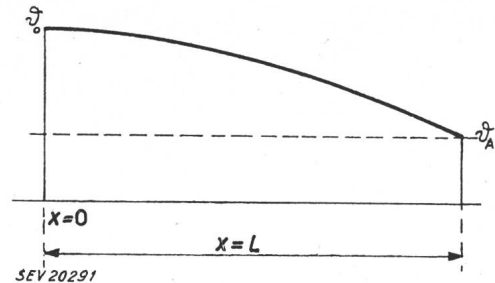


Fig. 2
Echauffement d'un fil de longueur finie 2 L
 $x = 0$ abscisse du point milieu

Régime permanent

Le régime étant stable: $\frac{\partial \Theta}{\partial t} \equiv 0$

La solution de l'équation différentielle est alors en posant:

$$\Theta - \Theta_A = \vartheta \quad \beta^2 = \frac{\alpha u}{\lambda q} \quad \xi = \frac{I^2 \varrho}{\lambda q^2}$$

$$\vartheta = \frac{\xi}{\beta^2} \left(1 - \frac{\cosh \beta x}{\cosh \beta L} \right) + \vartheta_A \frac{\cosh \beta x}{\cosh \beta L}$$

ϑ_A étant l'échauffement à l'extrémité, $x = L$.

A l'origine $x = 0$, nous aurons:

$$\vartheta_{x=0} = \frac{\xi}{\beta^2} \left(1 - \frac{1}{\cosh \beta L} \right) + \vartheta_A \frac{1}{\cosh \beta L}$$

Si la longueur du conducteur est infinie, ou très grande par rapport à la section, l'échauffement est uniforme et devient: $\left(\frac{1}{\cosh \beta L} \rightarrow 0 \right)$

$$\vartheta = \vartheta_0 = \frac{\xi}{\beta^2} = \frac{I^2 \varrho}{\alpha u q}$$

Si l'échauffement est prescrit, il est facile d'en déterminer la charge maximum correspondante

$$I_0^2 = \frac{\alpha u q \vartheta_0}{\varrho}$$

Pour un fil de section circulaire:

$$\vartheta = I^2 \frac{4 \varrho}{\pi^2 \alpha d^3} = \frac{\varrho d}{4 \alpha} \sigma^2$$

Si $\vartheta = 20...25\text{ }^\circ\text{C}$ pour du cuivre

$$I^2 \approx 40 d^3$$

Pour une lame de section rectangulaire, il vient avec une approximation suffisante:

$$\vartheta_0 \approx I^2 \frac{\varrho}{2 \alpha a b^2} = \frac{\sigma^2 \varrho a}{2 \alpha}$$

et pour le cuivre avec $\vartheta = 20...25\text{ }^\circ\text{C}$ $I^2 \approx 25 a b^2$

Echauffement rapide

L'échauffement est uniforme (indépendant de x) $\partial\vartheta/\partial x \equiv 0$

La solution de l'équation différentielle est alors:

$$\vartheta = \frac{I^2 \varrho}{\alpha u q} \left[1 - e^{-\frac{\alpha u}{k q} t} \right] = \vartheta_0 \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right]$$

τ_0 constante de temps du conducteur

$$\tau_0 = \frac{k q}{\alpha u} = \frac{k V}{\alpha S}$$

où V Volume du conducteur
 S Surface enveloppe du conducteur

pour $t = \tau_0$ l'échauffement atteint le 63 % de celui du régime permanent

Supposons que l'on fixe l'échauffement constant $\vartheta = \vartheta_0$ et déterminons le temps nécessaire pour obtenir cet échauffement avec un courant $I > I_0$.

Nous aurons, par transformation de l'équation:

$$t = \tau_0 \log \frac{I^2}{I^2 - I_0^2} \quad \text{avec} \quad \vartheta_0 = \frac{I_0^2 \varrho}{\alpha u q}$$

si $t \ll \tau_0$ $I \gg I_0$

il vient:

$$I^2 t = I_0^2 \tau_0 = \frac{k q^2 \vartheta_0}{\varrho} = \text{Constante}$$

Régime transitoire

C'est le régime intermédiaire entre le régime d'échauffement rapide et le régime permanent. Son analyse mathématique peut être poussée aussi loin qu'on le désire. Toutefois, celle-ci présente un intérêt pratique très relatif. En effet, les paramètres tels que α, k, ϱ sont variables avec l'échauffement ou le temps, et les calculs — tout en étant faisables — deviennent extrêmement compliqués; ils nécessitent une grande attention pour en extraire des conclusions pratiques. Cette analyse ne peut pas être développée dans le cadre de cet article.

Conducteurs de longueur finie

Il y a lieu de donner une attention toute particulière aux conditions aux limites, afin que l'inter-

prétation des calculs conduise à des conclusions pratiques réelles.

Conducteurs de section variable ou munis de dispositifs particuliers

Il suffit de considérer les nouvelles conditions qui conduisent à une équation différentielle de base différente, laquelle peut être analysée suivant le même schéma.

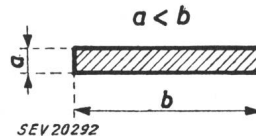


Fig. 3
Lame de section rectangulaire

Applications générales des résultats obtenus

Les formules obtenues sont applicables à tous les conducteurs et éléments d'appareils électriques. Suivant les régimes considérés, soit permanent ou d'établissement — échauffement faible ou fort —, il y aura lieu de bien déterminer le chiffrage des paramètres pour être constamment proche de la réalité pratique.

Application des résultats obtenus aux fusibles

Le comportement d'un fusible est déterminé par sa caractéristique de fusion. En effet, le fusible remplit sa mission (coupure) lorsque le ou les conducteurs fusibles fondent. (Pour l'argent, nous aurons ϑ_0 de l'ordre de 900...960 °C.) Cette caractéristique est généralement tracée en coordonnées rectangulaires, en usant d'échelles logarithmiques.

I_0 courant limite de non fusion, c'est-à-dire valeur asymptotique du courant inférieur limite de fusion

I_1 courant limite de fusion dans l'heure

Pour les temps très courts la loi $I^2 t = \text{constante}$ donne une caractéristique linéaire avec les échelles choisies.

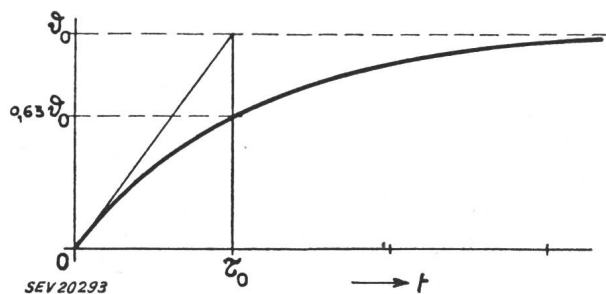


Fig. 4
Echauffement ϑ , fonction du temps t

Considérons un point i de la courbe de fusion: la tangente au point i peut définir à son intersection avec l'asymptote I_0 une constante de temps virtuelle τ_i laquelle correspond au régime du point i qui comprend la constante τ_0 du fil et celle d'une partie de la silice enrobant le fil fusible. Plus le point i se rapproche des temps longs, plus cette constante de temps virtuelle augmente. Lorsque le

régime stable est établi, cette constante de temps correspond alors à l'ensemble du fusible, plus, éventuellement, à une partie du coupe-circuit et des connexions.

L'angle ψ est donc constant, il est une caractéristique du matériau constituant le fil fusible.

L'angle β a pour valeur minimum ψ et augmente avec t pour tendre vers $\pi/2$ pour t tendant vers l'infini.

En fixant un courant de court-circuit I_c pour un temps très court t_c que l'on peut adopter pratiquement de l'ordre de 0,001 s, une caractéristique de fusion est donc définie par les éléments principaux suivants:

- I_0 courant limite de non fusion
- I_1 courant limite de fusion dans l'heure
- I_c courant de court-circuit
- t_c temps de court-circuit correspondant à I_c
- τ_0 constante de temps des conducteurs fusibles
- ψ caractéristique du matériau fusible

Pour un fusible donné, les éléments ci-dessus doivent se rapporter à l'intensité nominale du fusible; ils sont donc fonction de ce facteur.

Variation de la caractéristique de fusion et notion de normalisation de cette dernière

Une notion de normalisation peut s'appuyer sur une moyenne de réalisations pratiques de différents constructeurs pour une catégorie d'appareils don-

Pour le cas des fusibles, il suffit de considérer I_n variable pour avoir l'ensemble des caractéristiques

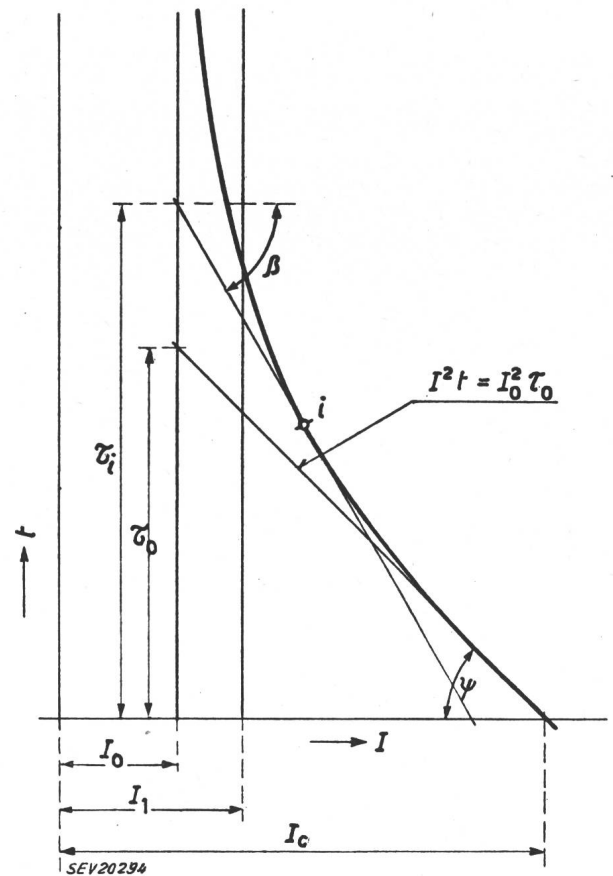
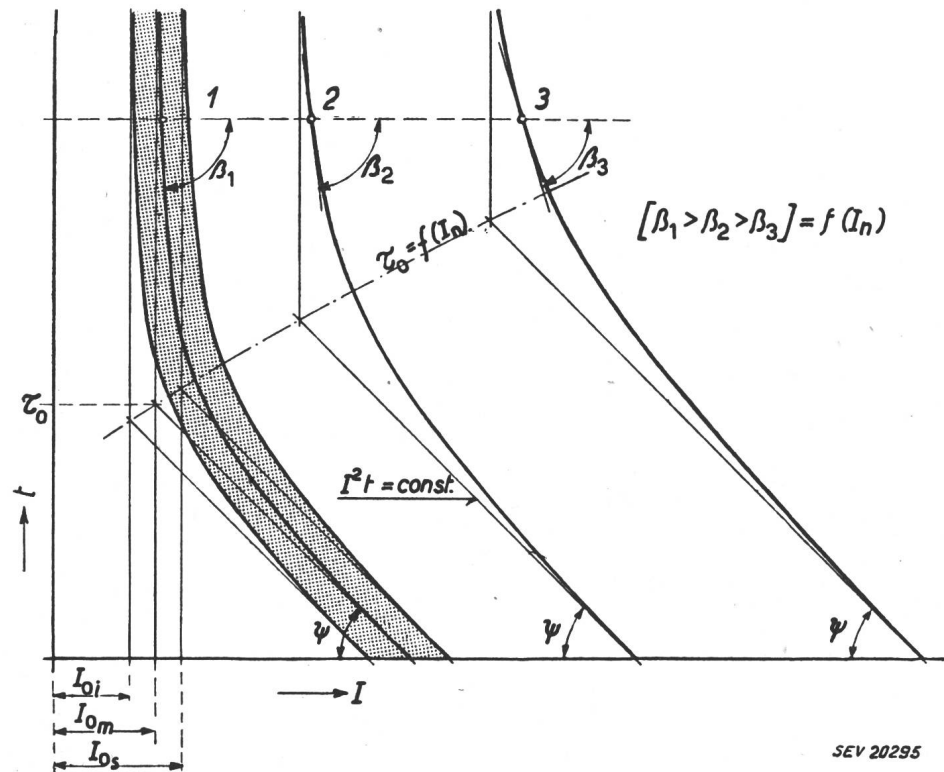


Fig. 5
Caractéristique de fusion en coordonnées logarithmiques
(Explication voir au texte)



rationnelles à tous points de vue.

Pour un même type de fusible, nous aurons donc:
 $\psi = \text{constant}$

$$\frac{I_0 \ I_1 \ I_c \ \tau_0 \ \beta_i}{(t = t_c) \ (t = t_i)} = f(I_n)$$

Les normes suisses pour les cartouches NH, suivant publication n° 182 de l'ASE, quoique n'étant

Fig. 6
Courbes et zones de fusion
indice i valeur limite inférieure
indice m valeur moyenne
indice s valeur limite supérieure

née. Elle doit cependant être systématique et suivre les lois physiques de base qui régissent ces appareils.

pas absolument rationnelles, correspondent sensiblement aux relations suivantes:

$$I_0 = I_n (1 + a e^{-b I_n})$$

$$I_c = I_n \left(C + \frac{I_n}{d} \right)$$

$t_c = 0,001 \text{ s}$

En variant les paramètres a, b, c, d , il est possible d'avoir des fusibles supportant une surcharge plus ou moins forte pour les temps longs ou étant plus ou moins rapides ou retardés pour les temps courts. De telles fonctions donnent un faisceau de caractéristiques rationnelles où toute fantaisie est bannie, lesquelles sont — relativement — facilement réalisables par le constructeur.

Normes Publ. n° 182 :

$a_i = 0,3$	}	Cartouches types 1 et 2
$a_m = 0,45$		
$a_s = 0,6$		
$b = 0,002$		
$\psi = \pi/4$	}	Pour $t = 0,001 \text{ s}$
$c = 30$		
$d = 20$		
$c = 50$		
$d = 12$	}	Cartouches type 2

Dispersion des réalisations

La construction et le principe même des fusibles exigent une tolérance dans leur comportement. Les possibilités pratiques et le coût des réalisations seront en fonction directe de cette tolérance.

Problème de la sélectivité de la protection

La sélectivité sera obtenue sans grande difficulté en fixant un choix judicieux des paramètres pour les différents types de fusibles, soit pour :

installations basse tension à courant faible,
installations basse tension à courant fort,
installations haute tension.

On tiendra compte en outre des variantes de couplage des circuits et du degré de rapidité ou de retardement désiré.

Conclusions

Nous avons considéré ici les conditions de fonctionnement des fusibles et défini une esquisse permettant une normalisation des caractéristiques de fusion. Il est implicitement entendu que le pouvoir de coupure doit être garanti tout le long de la courbe de fusion. Le dimensionnement des fusibles est dépendant des tensions et courants nominaux. Une normalisation de ce dimensionnement doit s'appuyer sur des bases similaires. Nous avons pensé qu'il était d'actualité de procéder à l'examen de cette question, les nécessités d'installation, d'échanges de matériel de protection préoccupant les spécialistes dans le domaine régional, national et même international.

Adresse de l'auteur :

R. Widmer, ingénieur diplômé EPL, chef du Bureau d'Etudes de la S. A. Gardy, Case postale 13-Jonction, Genève.

Assemblée de discussion de l'UCS sur la construction des sous-stations de transformation¹⁾

Introduction (version abrégée), présentée à l'Assemblée de discussion de l'UCS, le 6 mars 1952 à Berne, par E. Binkert, Lucerne

L'auteur donne un aperçu sur les différentes sortes de stations de transformation et touche brièvement les questions de construction et de droit qui se posent.

Der Verfasser gibt einen Überblick über die verschiedenen Arten von Transformatorenstationen und streift kurz die sich stellenden Bau- und Rechtsfragen.

Introduction

Celui qui veut se rendre compte de l'importance des sous-stations de transformation dans la distribution n'a qu'à se référer aux dépenses de construction qu'elles occasionnent. Pour le réseau de distribution de la ville de Lucerne, le prix de revient des sous-stations de transformation s'élevait à fin 1950, en chiffres ronds, à 2,7 Mio fr., soit à plus d'un quart de l'ensemble des dépenses d'installation du réseau de distribution. Le prix de revient moyen par sous-station s'élève à fr. 26 000, transformateurs compris. Le prix de revient individuel des sous-stations est très variable; il s'est élevé p. ex. pour des installations effectuées récemment à Lucerne, y compris tous accessoires :

Station sur poteau	fr. 10 800
Station en cabine	fr. 16 500
Postes de transformation fermés,	
construits à la surface du sol	fr. 28 800
à moitié enterrés	fr. 42 500
postes souterrains	fr. 49 000

¹⁾ voir Bull. ASE, t. 44(1953), n° 3, p. 97...101.

²⁾ Statistique des entreprises électriques de la Suisse, arrêtée fin 1948 (édition août 1950), établie par l'Inspectorat des installations à courant fort.

Comme, selon la Statistique de l'Inspectorat des installations à courant fort²⁾, il y avait en Suisse en 1948 plus de 13 000 stations de transformation, le capital investi correspondant devrait s'élever à 200 Mio fr. en chiffres ronds. Ces chiffres indiquent éloquentement que la construction des sous-stations de transformation doit faire l'objet de tous nos soins.

A. Les stations sur poteaux

Les centrales interurbaines surtout comptent de nombreuses stations sur poteaux; par contre elles ont presque complètement disparu dans les centrales urbaines. Les Entreprises électriques du canton de Zurich (EKZ) p. ex., qui sont une centrale interurbaine typique, comptent, sur un total de 767 stations de transformation, 447 stations sur poteaux, soit le 58 %, alors que la ville de Lucerne p. ex. n'en compte qu'une seule et, encore, il est prévu de construire une cabine sur un terrain qui est déjà acquis.

La fig. 1 représente la solution la plus simple, sur un unique poteau de béton. Il s'agit d'une station