

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 28 (1937)  
**Heft:** 17

**Artikel:** L'évolution des réseaux urbains triphasés  
**Autor:** Howald, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058747>

### **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>**

## L'évolution des réseaux urbains triphasés.

Par W. Howald, Winterthour.

621.316.13

Le remplacement progressif des réseaux urbains à courant continu par des réseaux triphasés et l'accumulation de fortes charges dans un espace restreint ont conduit à des systèmes de distribution à basse tension qui diffèrent très nettement entre eux, du fait que les réseaux à haute tension dont on dispose sont établis de façons différentes. Depuis quelque temps, on discute beaucoup de l'emploi du réseau maillé comme moyen d'obtenir une grande densité de surface et une bonne sécurité de service. Dans cet article, l'auteur compare entre eux les différents systèmes de réseaux et cherche à établir également les différences de prix. Il considère aussi le développement de la protection par relais et la détermination des conditions de court-circuit par le calcul et les essais sur modèle.

Der fortschreitende Ersatz der noch vorhandenen städtischen Gleichstromnetze durch die Wechselstromversorgung und die Anhäufung grosser Belastungen auf kleinem Raum haben, bedingt durch die zur Verfügung stehenden, verschieden ausgebildeten Hochspannungsnetze, zu Betriebsarten der Niederspannungsversorgung geführt, die sich stark voneinander unterscheiden. In neuerer Zeit wird das «Maschennetz» als Mittel zur Erzielung grosser Flächendichte und guter Betriebssicherheit stark diskutiert. In der nachfolgenden Arbeit werden die einzelnen Netzsysteme miteinander verglichen und es wird versucht, auch preisliche Unterschiede festzustellen. Neben der Ausgestaltung des Relaischutzes findet auch die Ermittlung der Kurzschlussverhältnisse durch Rechnung und Modellversuch die ihr zukommende Beachtung.

(Traduction.)

Du fait de l'augmentation constante de la consommation d'énergie électrique dans les réseaux de distribution urbains, la charge spécifique des agglomérations devient de plus en plus élevée. On a dû avoir recours à des renforcements de réseaux, qui conduisirent peu à peu à des formes différentes, ayant leurs caractères propres et qui diffèrent par conséquent beaucoup les uns des autres au point de vue du capital investi et de leur mode d'exploitation.

Des variantes de ces formes principales ne se rencontrent toutefois pas seulement dans les réseaux essentiellement urbains, mais également dans les réseaux ruraux d'une certaine importance. Les dirigeants de ces réseaux ont donc également à s'occuper de ces questions. Les réseaux de transport d'énergie à haute tension sont également touchés par ce phénomène, de sorte que l'étude de toutes ces questions offre un intérêt général, même si la discussion des principes fondamentaux est suivie dans cet article par l'exemple particulier du réseau du Service de l'Electricité de Winterthour. Cet exemple est toutefois intéressant, parce que la liberté de développement de ce réseau est déjà très fortement influencée par les conditions existantes.

### 1° Les principaux systèmes de distribution.

Dans le cas des réseaux suisses, le début du développement fut généralement caractérisé par le fait que la distribution pouvait avoir lieu directement depuis une centrale située sur un cours d'eau. On constata ensuite que le branchement de gros abonnés nécessitait un réseau à haute tension moins élevée. Au fur et à mesure qu'augmenta la densité des abonnés, ce réseau fut complété et l'on construisit d'autres postes pour l'alimentation du réseau de distribution.

Dans les réseaux de distribution à courant continu, on prévoyait très souvent des points d'alimentation, qui étaient alimentés eux-mêmes par des lignes partant directement de la centrale comme des rayons, de telle sorte que leurs tensions étaient compensées selon la charge, mais restaient égales entre elles. Des lignes circulaires reliaient ces points d'alimentation afin de réaliser un équilibre (fig. 1a), les divers secteurs du réseau partant de ces points d'appui.

Lorsque l'on passa à la distribution en courant alternatif, on constata bientôt qu'il était préférable de reporter la compensation du côté haute tension. L'application stricte de ce principe permet d'alimenter du côté basse tension le secteur de chaque poste de transformation indépendamment des autres

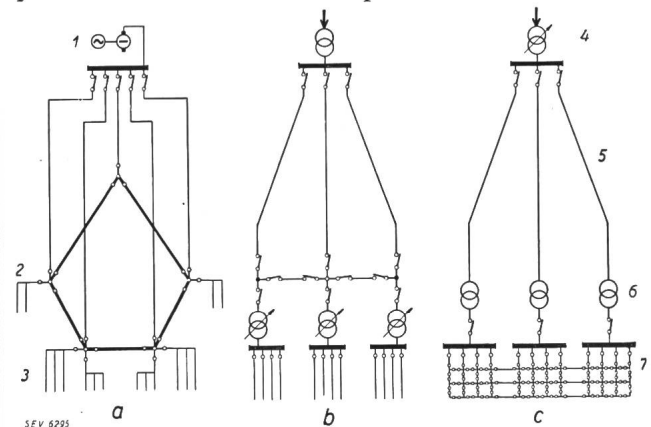


Fig. 1.

Schéma de principe des réseaux de distribution.

a Réseau à courant continu. b Réseau radial à feeders en boucles. c Réseau maillé à feeders radiaux.

○ Coupe-circuit.

1 Station de transformation. 2 Points de liaison. 3 Réseau de distribution. 4 Sous-station. 5 Haute tension. 6 Transformateur de réseau. 7 Réseau secondaire.

postes (figure 1b). On obtient ainsi un *réseau radial à feeders en boucles*.

Par contre, si l'on ne veut pas renoncer à une interconnexion côté basse tension, soit parce que l'utilisation des transformateurs est insuffisante, soit à titre de réserve et de secours réciproque, on arrive finalement au maillage complet du réseau secondaire, ce qui permet de simplifier le réseau haute tension (figure 1c). On obtient ainsi un *réseau maillé à feeders radiaux*<sup>1)</sup>.

En considérant les conditions de service, on peut résumer comme suit les avantages et les désavantages de ces divers types de réseaux:

#### 1° Alimentation par courant continu.

Réseau puissant permettant une sélection facile pour le déclenchement des tronçons avariés (coupe-circuit dépendant du courant!). Tous les points d'alimentation ont une tension réglée.

<sup>1)</sup> Mestermann, Siemens Z. 1931, Nos. 10 et 11.

### 2° Réseau radial à feeders en boucles.

*Côté haute tension:* Le réseau est couplé en boucles. Chaque poste de transformation doit être alimenté d'au moins deux côtés. Chaque départ doit être muni d'un équipement de couplage complet. La protection sélective par relais d'un tel réseau est très difficile à réaliser, dès qu'il existe des liaisons transversales.

*Côté basse tension:* Chaque poste alimente son secteur indépendamment des autres postes. Chaque secteur peut être maillé. On peut obtenir une protection sélective des divers câbles par un échelonnement des intensités de fonctionnement.

*Service:* Les perturbations haute tension doivent être débranchées sélectivement et n'ont pas d'effet sur le secteur. Les perturbations dans les transformateurs mettent tout un secteur hors service. Les perturbations dans le réseau secondaire peuvent également se répercuter sur une grande étendue. Le réglage individuel de la tension<sup>2)</sup> peut se faire depuis le transformateur.

### 3° Réseau maillé à feeders radiaux.

*Côté haute tension:* Le réseau haute tension rayonne vers les postes de transformation. Un équipement de couplage n'est nécessaire qu'à la sortie de la centrale ou de la sous-station. La protection sélective se réalise facilement.

*Côté basse tension:* Tout le réseau basse tension est maillé. Les divers postes se servent mutuellement de réserve. Par suite du maillage, il est nécessaire d'atteindre aux points de liaison une sélectivité des coupe-circuit d'après leur caractéristique. Dans ce but, tous les coupe-circuit ont la même intensité nominale. Du côté secondaire du transformateur, on doit prévoir des interrupteurs pour réseau maillé.

*Service:* Les perturbations en haute tension sont éliminées par le sectionnement du feeder correspondant, ce qui supprime l'alimentation du poste de transformation correspondant. Les perturbations dans les transformateurs sont également éliminées par le sectionnement du poste de transformation par l'interrupteur de départ. La charge du réseau est assurée par les autres postes, de sorte qu'il ne se produit pas d'interruption dans le service.

Dans les réseaux à forte charge spécifique, les défauts secondaires sont éliminés par fusion du câble avarié; dans les réseaux plus petits, on doit prévoir des coupe-circuit sélectifs. Lorsque le réseau est correctement dimensionné, la perturbation n'affecte que le petit nombre d'abonnés compris entre deux points de liaison.

La régulation de la tension doit se faire par régulation générale du réseau dans la centrale ou la sous-station. Grâce au bon équilibre du réseau secondaire, la chute de tension côté haute tension entre seule en ligne de compte et peut être corrigée par un compoundage.

En général, le développement d'un système de distribution ne permet pas d'appliquer strictement ces principes. Un réseau maillé s'obtient par exemple en complétant certains secteurs radiaux existants. En outre, l'alimentation haute tension

<sup>2)</sup> Howald, Bull. ASE 1937, No. 11.

n'a généralement pas lieu uniquement par feeders radiaux. On rencontre très souvent un couplage à feeders en boucles plus ou moins développé. Comme le montre la figure 2, celui-ci s'adapte également sans difficulté à un service de réseau maillé, tandis qu'il devrait être équipé avec d'autres appareils de couplage haute tension et des relais pour obtenir un service réellement sélectif du réseau radial à feeders en boucles.

Dans le couplage du réseau haute tension, il suffit de veiller à ce que, lors d'une avarie quelconque de câble, un trop grand nombre de postes de transformation ne soient mis simultanément hors service, afin que la charge du réseau puisse être assurée par les autres postes. Il est recommandable de prévoir le couplage à feeders en boucles de telle façon qu'un endroit de couplage quelconque puisse découpler les boucles en rayons, dès qu'une perturbation se produit. La tâche des relais est alors simplifiée à tel point que des relais à maximum suffisent dans la plupart des cas, alors que des relais directionnels, voire même des relais de distance, sont nécessaires pour un service sélectif à feeders en boucles.

Les questions relatives à l'établissement rationnel et économique des réseaux ont déjà été traitées en détail dans la littérature<sup>3)</sup>. Il est donc superflu d'y revenir.

### 2° L'équipement des postes de transformation.

On a vu que les divers types de réseaux exigent un équipement différent des postes de transformation. Un poste de réseau à feeders en boucles doit être muni d'un équipement de couplage complet.

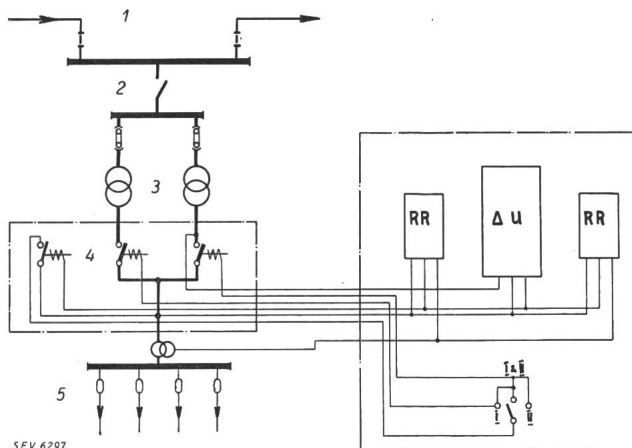


Fig. 3.

#### Equipement d'un poste de réseau maillé.

1 Réseau haute tension. 2 Interrupteur sous charge. 3 Transformateur de réseau. 4 Interrupteur pour réseau maillé avec relais. 5 Départs du réseau de distribution. ΔU Relais différentiel. RR Relais à retour de puissance.

Quand le réseau est un peu compliqué, il est en outre nécessaire de prévoir une protection sélective par relais.

Un poste de réseau maillé n'exige par contre pas de matériel haute tension. Cependant, en vue de la répartition par secteurs, on ne se contente pas seule-

<sup>3)</sup> W. v. Mangoldt. Le développement économique des réseaux urbains triphasés. Springer, 1933.

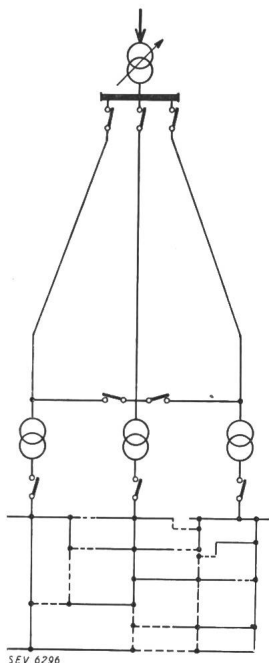


Fig. 2.

Transformation d'un réseau existant en réseau maillé. (Alimentation par feeders en boucles.)

ment d'établir des prises sur le câble haute tension, mais on prévoit également des sectionneurs. Quant au transformateur, il est également recommandable de prévoir la possibilité de le débrancher sous charge normale. Plusieurs maisons fabriquent ac-

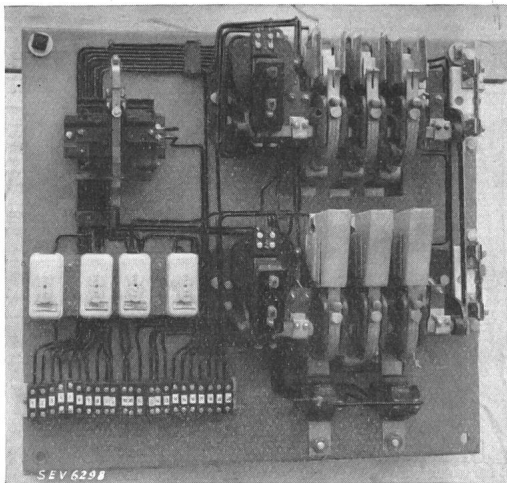


Fig. 4.  
Interrupteur pour réseau maillé.

tuellement des interrupteurs qui peuvent être déclenchés sous pleine charge et qui sont parfaitement appropriés à cet usage.

La figure 3 montre le schéma de principe de ces postes de transformation. Une de leurs caractéristiques est la présence d'un interrupteur pour réseau maillé. Il s'agit d'un interrupteur secondaire qui satisfait aux exigences suivantes:

1° Il ne se ferme que lorsque la tension côté transformateur dépasse celle du réseau (alimentation du côté haute tension, réenclenchement).

2° Il s'ouvre en cas de court-circuit côté transformateur et en cas de marche à vide du transformateur excité par le réseau secondaire (réduction des pertes à vide!).

3° Il s'ouvre en cas de court-circuit dans le réseau à haute tension (sectionnement du réseau secondaire).

4° En cas de perturbation du côté secondaire, le déclenchement est bloqué (coupe-circuit du réseau fonctionnant sélectivement).

Ces interrupteurs pour réseau maillé ont déjà été lancés depuis quelques années sur le marché par différentes maisons étrangères<sup>4)</sup>. Depuis lors, la Maison Sprecher & Schuh a mis au point un interrupteur de ce genre, avec la collaboration du Service de l'Electricité de Winterthour (figure 4). Pour les deux transformateurs du poste, cet interrupteur comporte deux contacteurs, qui sont montés sur un tableau avec les coupe-circuit et les relais d'enclenchement. Des transformateurs d'intensité sont prévus pour l'alimentation des relais.

Sur un autre tableau se trouvent les relais, dont deux relais directionnels unipolaires à grande sensibilité et un relais différentiel pour le réenclenchement. Un sélecteur permet de déclencher ou d'enclencher les deux transformateurs ou de n'enclencher que l'un ou l'autre (figure 5). Ce tableau porte

en outre un voltmètre avec commutateur pour le contrôle des tensions composées ou en étoile dans le poste.

La figure 3 montre le schéma de principe de cet interrupteur. Sur la figure 6, l'interrupteur est re-

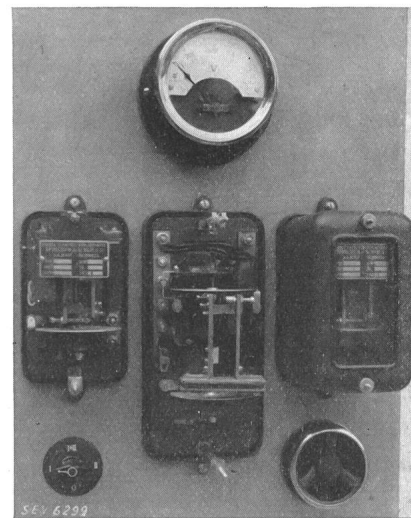


Fig. 5.  
Tableau de relais pour interrupteur pour réseau maillé.

présenté après son montage dans le poste. A titre d'essai, les coupe-circuit ont été remplacés par des disjoncteurs automatiques unipolaires à fiches de la Maison Sprecher & Schuh, qu'il y a lieu de mentionner ici tout spécialement. Le tableau des relais se trouve sur la paroi de droite, où sont également montés les disjoncteurs automatiques à fiches pour les besoins de l'installation à haute tension située au même endroit.

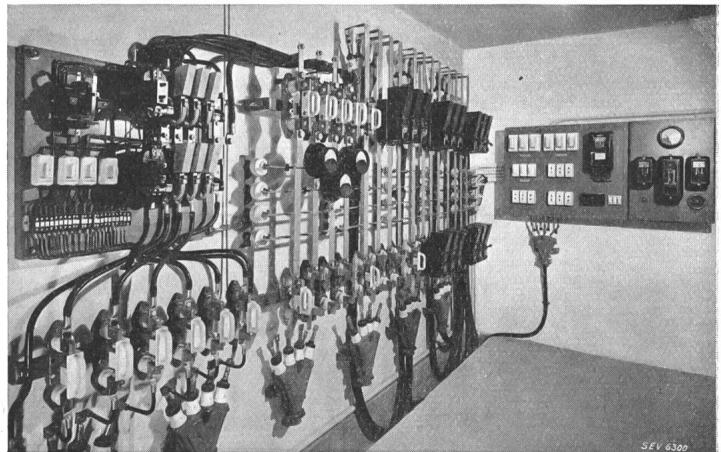


Fig. 6.  
Installation basse tension avec interrupteur pour réseau maillé et disjoncteurs automatiques à fiches.

Le tableau I indique les frais approximatifs de l'installation de postes souterrains à câbles de diverses puissances (par exemple dans une pente avec entrée libre sur le devant, ou sous un trottoir avec entrée par une cave) pour les deux systèmes de réseaux et avec l'équipement nécessaire pour deux câbles d'amenée à 3 kV. On remarquera que les

<sup>4)</sup> Siemens Z. 1929, No. 8. — Electr. I. 1935, No. 7.

frais d'un poste de réseau maillé sont moins élevés que ceux d'un poste pour réseau à feeders en boucles. Si donc les frais des amenées haute tension ne sont pas plus élevés pour le réseau maillé que pour un réseau à feeders en boucles, son installation est également avantageuse au point de vue financier. Cela est surtout important dans le cas où de nombreux postes de transformation de faible puissance travaillent sur un réseau de dimensions relativement restreintes, mais avec grande densité de charge (au centre d'une ville par exemple).

Comparaison des frais pour postes de réseaux.  
Indications en francs.

Tableau I.

Système du réseau	100 kVA		200 kVA		400 kVA	
	Boucles	Mailles	Boucles	Mailles	Boucles	Mailles
Constructions .	8 000	6 000	9 000	6 000	11 100	8 000
Install. H. T. et Transform. . .	9 500	5 200	11 000	6 500	12 500	8 400
Install. sec. . .	2 500	3 500	2 500	3 700	3 000	4 600
Total	20 000	14 700	22 500	16 200	26 500	21 000

### 3° Exemple de réseau de distribution urbain.

Dans ce qui suit, on montrera les résultats obtenus par l'application de ces principes à un réseau de distribution. La figure 7 représente le réseau du Service de l'Electricité de Winterthur. Les principales caractéristiques des divers secteurs y sont indiquées.

Les autres caractéristiques des secteurs sont mentionnées dans le tableau II, qui indique les puissances installées, ainsi que les quantités d'énergie

fournies au réseau secondaire par rapport à la grandeur des secteurs.

On remarquera tout particulièrement que la partie située à l'ouest de la voie ferrée des CFF (Veltheim/Neuwiesen) est plus riche en habitants/km<sup>2</sup> et en puissance installée/km<sup>2</sup> que la partie est (vieille ville/Breite). Cela provient du fait que le lotissement y est plus régulier et que les jardins qui entourent les maisons sont moins grands (quartier des employés et des fonctionnaires). A l'est de la voie ferrée se trouve la vieille ville, dont les valeurs spécifiques sont les suivantes:

Habitants/km<sup>2</sup> 16 500  
Câbles à 3 kV/km<sup>2</sup> 12,8 km  
Câbles à 380 V/km<sup>2</sup> 28,2 km

Autour de la vieille ville, il existe des quartiers de villas avec les grands jardins qui caractérisent la vieille ville de Winterthur. Comme l'indique le tableau II, ces quartiers présentent toutefois une importante puissance installée et une consommation d'énergie électrique accrue, ce qui prouve une électrification relativement poussée.

Les communes avoisinantes de Töss, Wülflingen, Oberwinterthur et Seen présentent des chiffres de consommation très différents selon que leur population est plus ou moins composée d'ouvriers ou de petits artisans et bourgeois, ou encore de paysans. Quelques grandes industries exercent une forte influence sur la composition de la consommation, entre autres une grande menuiserie à Wülflingen et un commerce de fourrages à Oberwinterthur.

En ce qui concerne l'exploitation, il faut mentionner que les communes extérieures sont alimen-

Caractéristiques des secteurs.

Tableau II.

Système de réseau	Réseau maillé		Réseau radial à feeders en boucles			
	I à l'ouest de la voie	II à l'est de la voie	III Töss	IV Wülflingen	V Ob.-Wth.	VI Seen
Secteurs						
Habitants . . . . .	17 600	17 700	6 650	4 700	5 800	3 500
Surface alimentée . . . . . km <sup>2</sup>	2,36	3,53	0,9	1,1	1,15	0,7
Puissance installée . . . . . kW	11 860	11 990	3 445	1 895	4 030	1 765
Lumière . . . . . %	25	25,5	15	18,5	12,5	13,5
Force . . . . . %	13	13,5	47	46	53	32,5
Chaleur . . . . . %	62	61	38	35,5	33,5	54
Energie fournie . . . . . kWh	2 838 000	7 273 000	590 000	483 000	844 000	388 000
Lumière . . . . . %	31	32	38	29	24	26
Force . . . . . %	7,5	10	12	38	32	19
Chaleur . . . . . %	61,5	58	49	33	44	55
Nombre des postes de transformation . .	8	15	3	2	3	2
Puissance des transform. installée kVA	1 000	2 000	360	300	400	300
Distance moyenne entre postes . . . m	400	320	400	700	500	500
<b>Valeurs spécifiques:</b>						
Habitants/km <sup>2</sup> . . . . .	7 650	5 020	7 400	4 270	5 040	5 000
Habitants/Abonné . . . . .	3,1	3,12	3,6	4,7	4,0	5,4
kW raccordés/km <sup>2</sup> . . . . .	2,08	2,1	1,86	1,92	2,76	2,72
kW raccordés/Abonné . . . . .	5 040	3 390	3 830	1 720	3 500	2 500
Lignes H. T. km/km <sup>2</sup> . . . . .	4,1	4,1	2,4	1,35	2,25	2,58
Lignes B. T. km/km <sup>2</sup> . . . . .	22,2	20,4	20,8	15,9	17,3	14,1
<b>Energie fournie:</b>						
kWh/kW raccordé . . . . .	238	606	171	255	200	200
> /Abonné . . . . .	425	1 280	340	580	564	518
> /km <sup>2</sup> . . . . .	1 205 000	2 060 000	655 000	450 000	735 000	555 000
> /Poste de transformation . . . . .	298 000	485 000	197 000	241 000	281 300	194 000
> /kVA puissance de transformation .	2 840	3 630	1 640	1 610	2 100	1 290

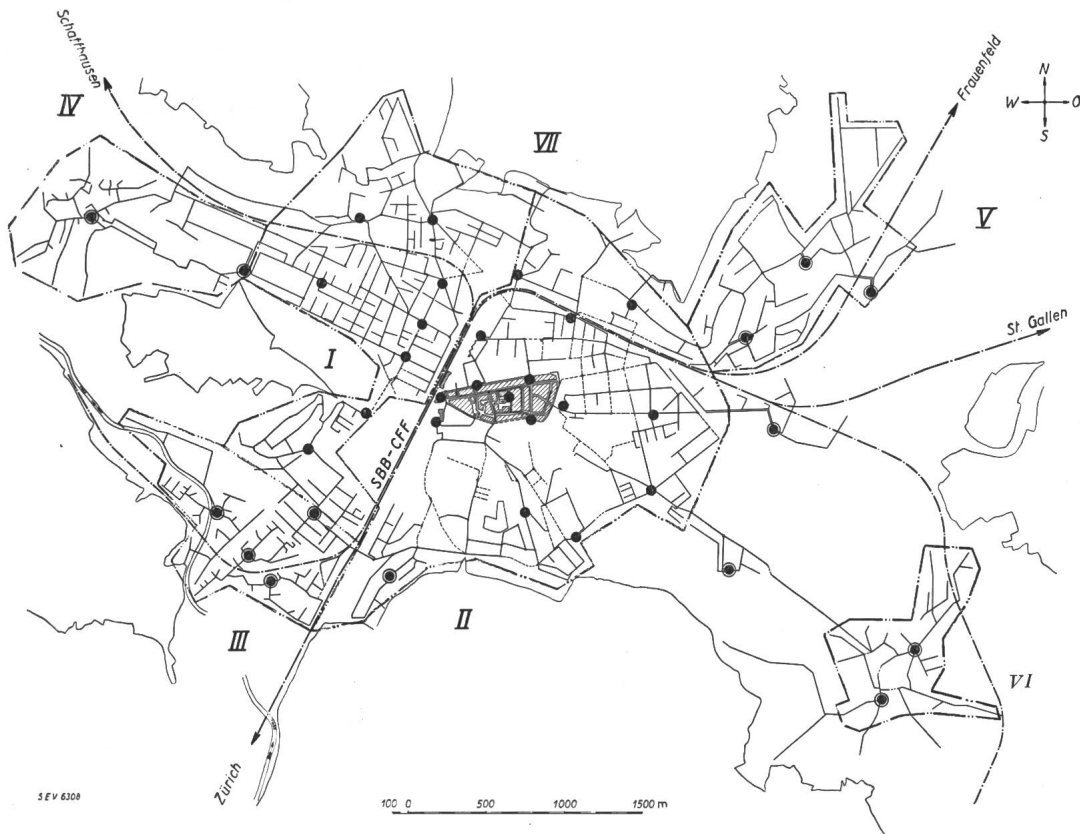


Fig. 7.

Vue d'ensemble du réseau de distribution de Winterthur.

- Postes du réseau maillé.
- ⊙ Postes du réseau radial à feeders en boucles.

No.	Lieu	Nombre d'habitants	Surface km <sup>2</sup>	Consommation kWh
I	A l'ouest de la voie ferrée CFF . . . . .	17 600	2,36	2 838 000
II	A l'est de la voie ferrée CFF . . . . .	17 700	3,53	7 273 000
III	Töss . . . . .	6 650	0,9	590 000
IV	Wülflingen . . . . .	4 700	1,1	483 000
V	Ober-Winterthur . . . . .	5 800	1,15	844 000
VI	Seen . . . . .	3 500	0,7	388 000
VII	Réseau maillé Winterthur/Veltheim . . . . .			

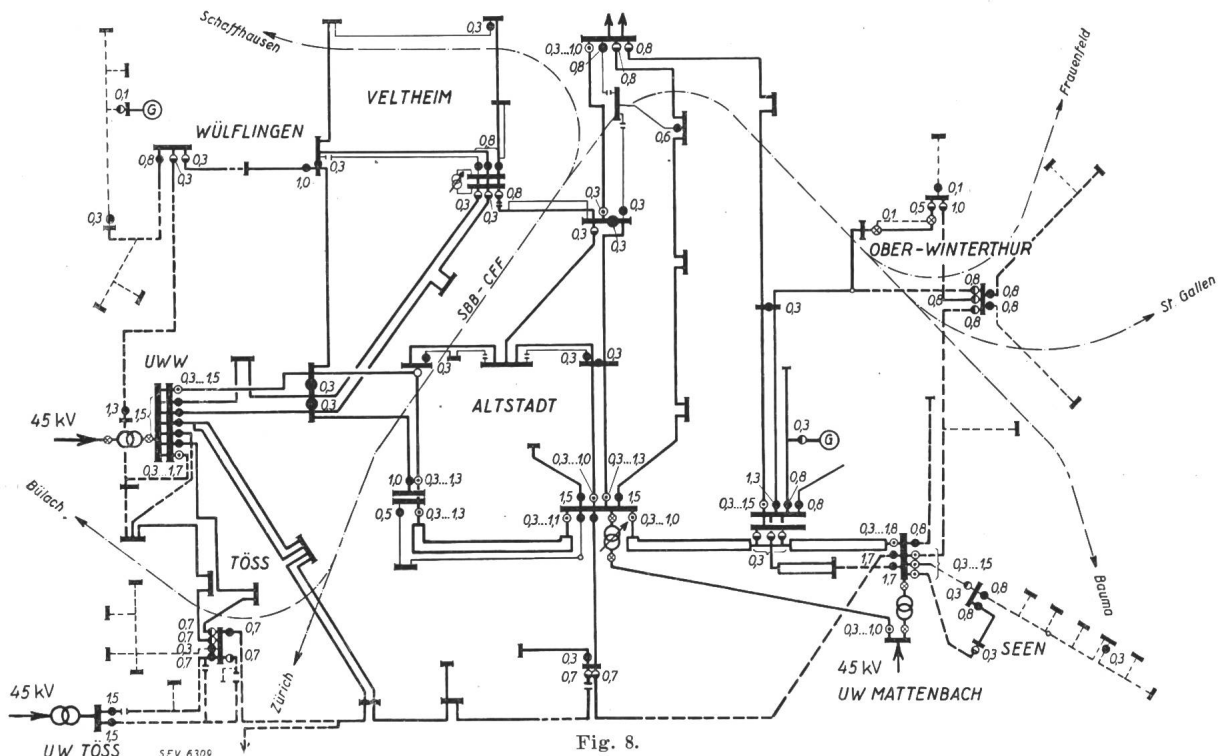


Fig. 8.

Plan des relais du réseau à 3 kV. (Durées de déclenchement en s.)

- Relais à maximum indépendants.
- ⊙ Relais directionnels indépendants.
- ⊙ Relais de distance.
- ⊗ Relais différentiels.

tées par lignes aériennes rayonnant depuis des postes de transformation. Ces secteurs ne sont pas maillés. On réduit ainsi sensiblement les effets des perturbations dans le réseau de distribution. Pour assurer l'alimentation des postes, on a prévu partout où l'établissement de couplages en boucles était possible les dispositifs de couplage nécessaires. Ainsi, dans le secteur de Wülflingen, on a pu réduire à 2 le nombre des interruptions de service qui était de 19 en cinq ans. Tous les autres déclenchements ne provoquent plus d'interruptions. En outre, le réseau est d'environ 60 % plus puissant. Dans les secteurs d'Oberwinterthour et de Seen, les conditions sont semblables.

Dans le secteur de la vieille ville et dans les quartiers situés entre celle-ci et la voie ferrée des CFF, ainsi qu'à Veltheim, les divers secteurs du réseau

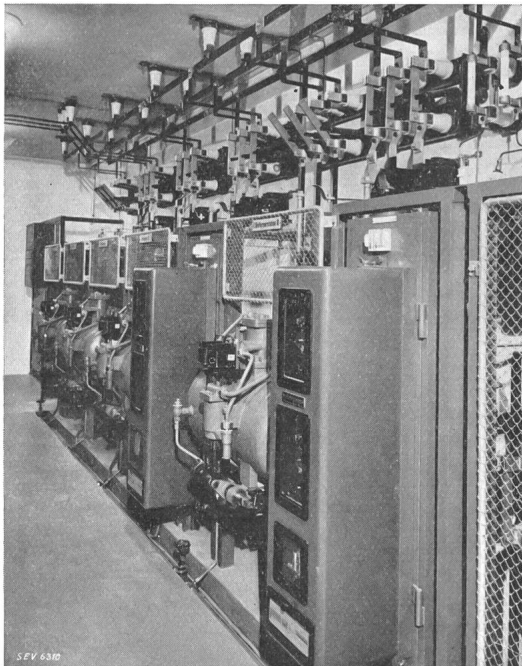


Fig. 9.

Montage des relais de distance Brown Boveri.

sous câbles étaient jusqu'ici reliés par des coupe-circuit «faibles». En service normal, on pouvait ainsi obtenir un équilibre des charges et un meilleur maintien de la tension. Par contre, en cas de perturbations, il ne se produisait pas seulement une fusion des coupe-circuit à l'endroit avarié, mais également d'autres fonctionnements de fusibles d'un contrôle malaisé, par suite de la fusion partielle des coupe-circuit «faibles». Sur 8 perturbations étudiées dans la vieille ville, 7 d'entre-elles se transmettaient sans raisons apparentes à d'autres secteurs; à Veltheim, 5 perturbations sur 6 furent dans le même cas. Presque toutes les perturbations secondaires occasionnèrent des déclenchements du côté haute tension. Les perturbations en haute tension provoquaient toujours des interruptions dans l'alimentation du secondaire.

Ces conditions inadmissibles ont conduit à développer un système de protection par relais et à transformer le réseau comme le montre la figure 8.

Au point de vue du couplage, on constatera que l'on a cherché à former des lignes en boucle, reliées dans les secteurs extérieurs par des postes de couplage complètement équipés. Les postes éloignés sont alimentés par des câbles radiaux partant de ces postes de liaison.

Lorsque les conditions existantes ne permettent pas d'améliorer les possibilités de couplage, les postes sont de simples postes de passage sans interrupteurs. On doit toutefois tenir compte dans ce cas (comme par exemple dans le secteur de Töss) que l'on peut réaliser également, dans un réseau radial non bouclé, d'autres possibilités d'alimentation par commutation primaire sur sectionneurs et par interconnexion secondaire avec un autre secteur. On ne peut cependant éviter une interruption de service.

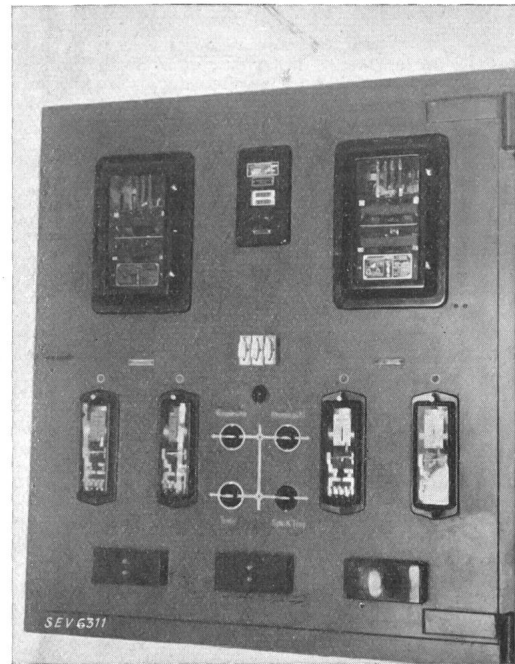


Fig. 10.

Montage des relais directionnels.

Dans les secteurs du centre (vieille ville/Veltheim), un examen a montré que les postes de couplage ne pouvaient être transformés qu'à grands frais en vue d'un service sûr par feeders en boucles avec réseaux secondaires séparés. Dans certains cas, les distances entre les postes ne suffiraient même pas pour assurer un échelonnement correct des relais. On a donc appliqué un couplage qui provoque immédiatement la transformation des lignes en boucles du réseau en lignes individuelles, dès qu'une perturbation se produit.

Comme le montre le schéma, on peut utiliser dans ce but une combinaison de relais de distance, de relais directionnels et de relais à maximum, la durée de déclenchement la plus grande étant de 1,5 s. Ce système permet en outre un déclenchement absolument sélectif. Il s'agit de relais de distance bipolaires Brown, Boveri, type LK, de relais directionnels bipolaires S & H et MFO combinés avec des relais Brown, Boveri à maximum, type S,

ainsi que de relais principaux Brown, Boveri, type HB. La figure 9 montre le montage de relais de distance et de relais principaux; la figure 10 montre le tableau des relais d'un poste de liaison équipé de relais directionnels. Tous les départs équipés de relais secondaires sont prévus avec bornes d'essai

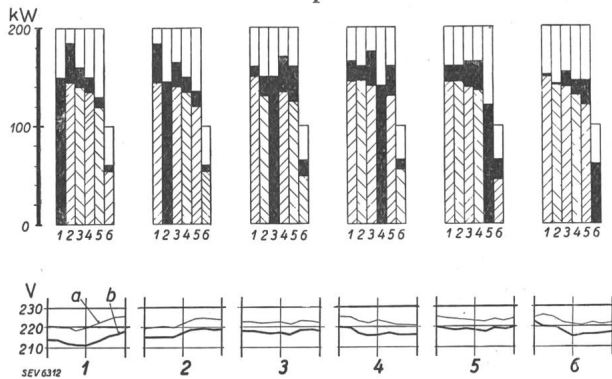


Fig. 11.

Décalage de la charge dans le secteur de la vieille ville, en cas de mise hors service de divers postes.

En haut: Décalage de la charge.

Charge normale du poste.  
Charge du poste déclenché et portions assurées par les autres postes.

La hauteur totale de la colonne (200, resp. 100 kW) indique la puissance installée.

En bas: Tension dans le poste déclenché.

1 Epa. 2 Casino. 3 Graben. 4 Kirehplatz. 5 Holderplatz. 6 Geiselweid.  
a Avant le déclenchement. b Après le déclenchement.

pour raccordement d'un appareil Brown, Boveri à contrôler les relais de distance. Leur contrôle permanent en est ainsi grandement facilité. Ces bornes d'essai manquent encore sur le tableau de la fig. 10.

La protection est maintenant perfectionnée de telle sorte que, même là où des postes de passage sont raccordés, il ne peut jamais arriver que plus

de 2 postes soient privés de tension en cas d'interruption sur une ligne. Des essais ont montré que dans les secteurs de la vieille ville et de Veltheim la charge peut être assurée sans difficulté par les autres postes lorsque le réseau secondaire est interconnecté. Le résultat de ces essais est indiqué sur la figure 11 (pour le plan du réseau, voir figure 14).

L'idée de la création d'un réseau maillé dans ces secteurs était d'autant plus raisonnable, que l'installation d'un réseau sélectif à feeders en boucles aurait coûté environ 125 000 fr., alors que le réseau maillé pouvait être installé pour environ 25 000 fr. seulement. Les adjonctions qui pourraient encore

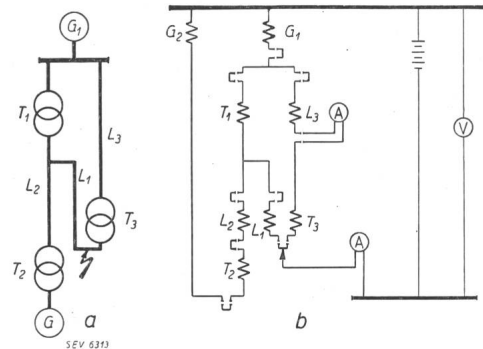


Fig. 13.

Principe de la mesure sur un modèle.

a Schéma d'une ligne. b Schéma équivalent sur le modèle.

être nécessaires dans le réseau secondaire sont d'ailleurs nécessitées par le changement de la tension et par l'augmentation de la consommation.

4° Essais sur réseau et sur modèle.

Pour élucider les diverses questions concernant le réglage des relais et le choix des coupe-circuit,

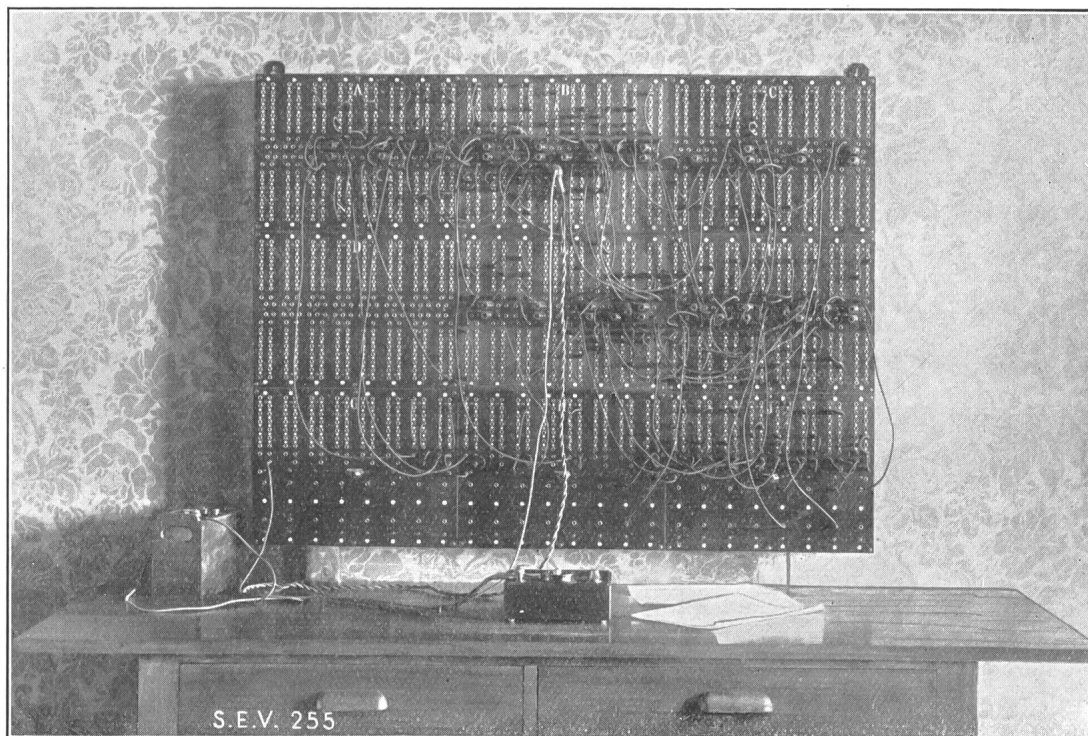


Fig. 12.

Modèle de court-circuit de l'ASE.



on a entrepris des mesures sur la répartition de la charge dans tout le réseau, ainsi que des essais sur un modèle pour le secteur de la vieille ville (fig. 12, modèle de court-circuit de l'ASE<sup>5</sup>). On a l'intention d'effectuer des essais de court-circuitage effectifs dans le réseau, lorsque les travaux de transfor-

à l'un des pôles d'une source de courant. L'autre pôle est relié à l'endroit de court-circuit sur un premier ampèremètre, et l'on mesure le courant total de court-circuit. Un second ampèremètre, qui peut être inséré dans les diverses branches, permet de déterminer les courants partiels qui s'écoulent dans un sens ou dans l'autre, et dont la somme doit correspondre au courant total. Le résultat de contrôle obtenu lors de ces essais a prouvé que les erreurs sont extrêmement faibles.

La figure 14 montre le plan du secteur examiné. On y remarque nettement les conditions d'habitation caractéristiques pour Winterthur, d'une part les quartiers resserrés de la ville et, d'autre part, les quartiers de villas plus dégagés.

La figure 15 montre les conditions du courant sous charge normale et dans un cas déterminé de court-circuit au centre de la ville.

Comme on le verra au chapitre suivant, les différences de courant ne suffisent parfois que tout juste à assurer le déclenchement sélectif des coupe-circuit, dans l'état actuel du réseau maillé. En effet, le manque de certaines liaisons transversales entre la rue de l'Hôtel-de-Ville et la rue du Marché se fait désagréablement sentir. En règle générale, les points de liaison d'un réseau maillé doivent être autant que possible formés par 4 lignes.

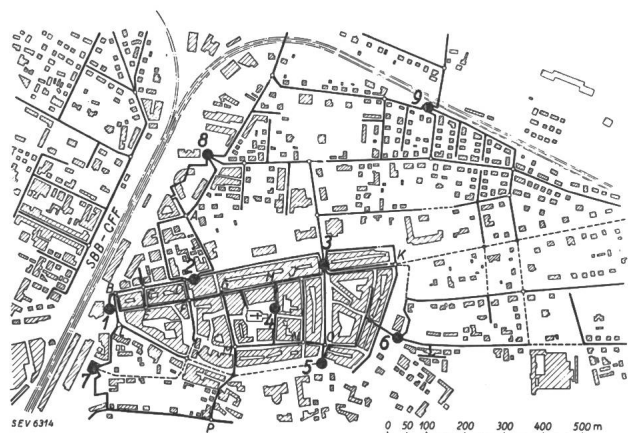


Fig. 14.

Plan du secteur de la vieille ville.

- 1 Epa. 2 Casino. 3 Graben. 4 Kirchplatz. 5 Holderplatz.
- 6 Geiselweid. 7 Station de transformation. 8 St. Georgen.
- 9 Schwalmenaeker.

— Câbles existants. - - - Adjonctions.  
A...P Points de liaison.

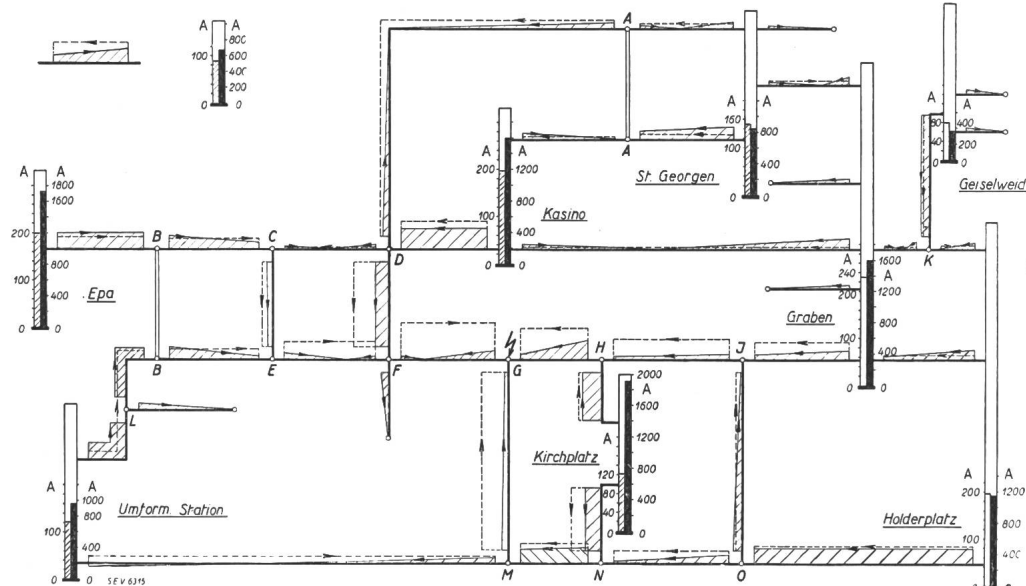


Fig. 15.

Répartition du courant mesurée dans le secteur à 380 V de la vieille ville.

- Barres secondaires.
- ▨ Charge normale totale.
- Charge totale de courant de court-circuit.

mation seront terminés, afin de contrôler l'efficacité des mesures prises.

Dans ce cas également, les essais sur modèle ont permis de faire d'intéressantes constatations au sujet des conditions qui se présentent lors de courts-circuits. En peu de temps, on a pu mesurer un grand nombre de cas caractéristiques, dont la représentation obtenue était beaucoup plus claire que des calculs.

Le travail sur les modèles est certainement connu du lecteur. On se bornera donc à en donner une brève caractéristique sur la figure 13. Le réseau à mesurer est représenté dans un schéma équivalent par des résistances. Le point à alimenter est relié

A certains endroits de court-circuit, on constata même parfois que divers postes de transformation débitaient du courant du réseau secondaire au réseau à haute tension. Dans de pareils cas, le fonctionnement de l'interrupteur pour réseau maillé doit donc être également coordonné avec les temps de déclenchement du réseau haute tension, afin d'éviter des déclenchements inutiles. On voit donc que les temps des relais côté haute tension et les temps de fusion des coupe-circuit de distribution dépendent les uns des autres dans une plus large mesure qu'on ne le croit ordinairement.

5° Le choix des coupe-circuit.

Le choix correct des coupe-circuit dépend d'une part des conditions de service normales et d'autre

5) Bull. ASE 1927, No. 11, p. 713.

part des contraintes engendrées par les courts-circuits. En outre, les caractéristiques des coupe-circuit ne doivent pas être modifiées, même en cas de préchauffages différents (par suite d'une alternance de contraintes en service et de contraintes dues au courant de défaut). Le type ordinaire n'est donc

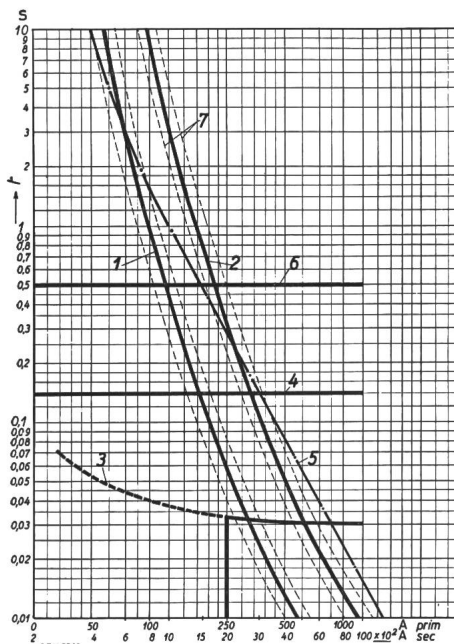


Fig. 16.

Caractéristiques de déclenchement.

- 1 Coupe-circuit à grande puissance, intensité nominale 200 A, à retardement.
- 2 Coupe-circuit à grande puissance, intensité nominale 300 A, à retardement.
- 3 Disjoncteur automatique à fiches; ---- bloqué.
- 4 Interrupteur primaire à bain d'huile, avec relais indépendant à maximum d'intensité (en cas de déclenchement instantané).
- 5 Coupe-circuit primaire sous tube. Fusible 0,8 mm  $\varnothing$ ; intensité nominale 20 A.
- 6 Relais à retour de puissance de l'interrupteur pour réseau maillé.
- 7 Commande.

pas utilisable et l'on doit prévoir des coupe-circuit à grande puissance. Il ne peut plus s'agir dans ce cas d'une protection contre les surcharges, comme on le prétendait autrefois. Un chef d'exploitation doit savoir qu'une protection correcte, qui déclenche uniquement le tronçon avarié lors de perturbations et maintient par ailleurs une continuité de service

aussi grande que possible, ne peut être qu'une protection contre les courts-circuits.

La protection contre les surcharges doit être réalisée par le montage d'appareils appropriés<sup>6)</sup> dans l'installation du consommateur. Dans le réseau lui-même, on obtiendra les données nécessaires en observant régulièrement les charges, soit par la lecture des instruments installés dans les postes, soit par le montage périodique d'instruments enregistreurs dans les lignes éloignées. Ce mode d'observation du service indique bien mieux que les déclenchements éventuels d'interrupteurs dus à des surcharges, les défauts que peut présenter un système de transmission et fournit ainsi la possibilité d'exécuter les adjonctions nécessaires.

La figure 16 indique les temps de fusion atteints par diverses classes de coupe-circuit. Elle mentionne en outre les coordinations des autres appareils de protection. Les recherches entreprises sur les divers courants de défaut du réseau considéré permettent les conclusions suivantes:

- 1° La durée d'échelonnement minimum doit être de 0,02 s; il faut également tenir compte d'une dispersion de 10 % de la valeur du courant.
- 2° La durée maximum de fusion ne doit pas dépasser environ 0,75 s, afin de tenir compte de la protection du réseau haute tension.
- 3° A tous les points de liaison, on doit prévoir de façon uniforme des coupe-circuit de 200 A à retardement.
- 4° Les départs des postes sont munis de coupe-circuit de 300 A à retardement.
- 5° Les coupe-circuit de transformateurs de 0,8 mm  $\varnothing$  (20 A) côté haute tension fonctionnent de façon sélective et seulement en cas d'avarie du transformateur.
- 6° La durée de déclenchement par courant de retour de 0,5 s est suffisante pour les interrupteurs pour réseaux maillés.
- 7° Les disjoncteurs automatiques à fiches doivent être bloqués en cas de déclenchement rapide. Pour certaines perturbations, ils ne fonctionnent pas sélectivement par rapport aux coupe-circuit. L'expérience montrera s'il y a lieu de les changer.
- 8° Les interrupteurs de transformateurs éventuels doivent présenter une durée de déclenchement qui ne soit pas inférieure à 1 s.

Le tableau III, valable pour les conditions mesurées sur le modèle, montre que dans les conditions existantes il n'est cependant parfois pas possible d'atteindre complètement la durée d'échelonnement

<sup>6)</sup> Bull. ASE 1937, No. 9, p. 176.

Echelonnement des durées de fusion.

Tableau III.

Endroit de défaut	Point de liaison 200 A				Départ du poste 300 A			
	Branche-ment	Courant A	Durée de fusion s	Echelonne-ment s	Branche-ment	Courant A	Durée de fusion s	Echelonne-ment s
Poste transf. . . . .	J	4 100/3 060	0,02/0,02	0	St. G.	8 300/ 900	0,013/5	4,987
Graben . . . . .	J	4 100/1 040	0,02/0,3	0,28	Kas.	8 300/1 200	0,013/1,2	1,187
Branchement J	H	4 100/1 550	0,02/0,09	0,07	H. Pl.	8 300/1 470	0,013/0,75	0,737
					K	8 300/ 680	0,013/11	11
Branchement K	J	12 000/4 100	0,00/0,02	0,02	H. Pl.	12 000/1 470	0,00/0,75	0,75
					Toutes les autres différences sont plus favorables			
Point de liaison G	F	4 660/2 260	0,015/0,035	0,02				
	G	5 670/4 000	0,02 /0,02	0				
	M	5 670/1 670	0,02 /0,07	0,05				
	G	6 330/4 660	0,008/0,008	0				
	M	6 330/1 670	0,008/0,07	0,06				
	H	4 000/2 600	0,02 /0,025	0				
	F	8 330/4 660	0,005/0,008	0				
	H	8 330 4 000	0,005/0,01	0				
M	1 670/1 250	0,01 /0,15	0,05					

nécessaire de 0,02 s. Depuis lors, cette durée a été néanmoins améliorée par la pose d'un câble supplémentaire entre la station de transformation et le point de liaison F. Une autre liaison est prévue entre la rue de l'Hôtel-de-Ville et la rue du Marché. De la sorte, on atteindra une sélectivité qui suffira dans la grande majorité des cas.

### 6° Conclusions.

On a tenté d'indiquer les principes fondamentaux du développement des réseaux urbains de distribution d'énergie. On a montré qu'il est possible d'installer sans grands frais un système sélectif de relais destiné à réduire la fréquence des perturbations et surtout à limiter les effets de celles-ci.

L'examen du développement d'un réseau de distribution à basse tension a montré qu'il est possible et avantageux de prévoir un réseau maillé, même pour un réseau urbain de moindre importance, où la population est dense et où les charges peuvent se concentrer. Toutefois, pour éviter toute surprise

désagréable, il est nécessaire d'étudier attentivement les conditions au sujet des courts-circuits qui peuvent se produire dans les divers tronçons, avant d'introduire un système de ce genre. Le moyen le plus simple est d'établir un modèle du réseau, sur lequel on peut déterminer rapidement et avec précision les différents cas de service.

En ce qui concerne les sections des câbles, celles-ci dépendent de la charge existante. Il ne faut naturellement pas que ces sections soient trop faibles. Un câble robuste est surtout nécessaire pour l'interconnexion des postes de transformation.

On a constaté qu'il est avantageux de prévoir dans les câbles des fils-pilotes, qui peuvent servir à la commande de l'éclairage public ou à la signalisation. Dans certains cas, on prévoit un câble spécial pour l'éclairage et la signalisation. Ces câbles séparés sont recommandables au centre du réseau, d'où partent les manœuvres et les signaux. Dans les câbles de la périphérie, il suffit de prévoir des fils-pilotes auxiliaires logés dans le câble principal.

## Le réglage de la puissance réactive en rapport avec les réseaux à haute tension.

Par Ch. Jean-Richard, Berne.

621.316.727

*L'auteur, ingénieur aux Forces Motrices Bernoises S.A. à Berne, expose une méthode de réglage concernant la puissance réactive en rapport avec les réseaux à haute tension et explique le cas d'une application pratique de cette méthode.*

*Der Autor, Ingenieur der Bernischen Kraftwerke A.-G., Bern, beschreibt ein Verfahren für die Regelung der Blindleistung in Hochspannungsnetzen und gibt ein Anwendungsbeispiel dieses Verfahrens.*

La distribution de l'énergie électrique se fait souvent avec un déphasage qui correspond environ au facteur de puissance 0,8 ind. C'est-à-dire que l'énergie réactive comporte 75 % environ de l'énergie active.

On a essayé à juste titre de réduire l'énergie réactive en installant des condensateurs à la périphérie du réseau. C'est alors qu'on s'est aperçu que les réseaux à haute tension imposent une certaine restriction dans l'installation des condensateurs. Cela provient de ce que ces réseaux représentent eux-mêmes des condensateurs de grande capacité. Ainsi une ligne triphasée à 140 kV et de 100 km équivaut à un condensateur dont la puissance nominale serait de 6000 kVar.

Toutefois les condensateurs peuvent être déclenchés en même temps que la charge réactive qu'ils compensent. Il est donc possible, malgré les réseaux à haute tension, d'atteindre en pleine charge des facteurs de puissance se rapprochant sensiblement de l'unité.

Lorsque la charge va en diminuant, l'influence des réseaux à haute tension va en augmentant pour devenir prépondérante lorsque la charge est nulle. C'est alors qu'il faut non seulement déclencher tous les condensateurs, mais encore compenser l'énergie capacitive des réseaux à haute tension par une quantité d'énergie réactive de même valeur et de sens contraire.

Le diagramme de la fig. 1 représente le principe de cette façon d'agir. La droite inclinée qui forme avec l'axe des ordonnées l'angle  $\varphi$  est déterminée

d'une part par les besoins du consommateur en énergie réactive à pleine charge et d'autre part par les besoins du fournisseur en énergie réactive lorsque la charge est nulle. Le cercle dont le rayon est égal à  $m$ , représente justement ces besoins du fournisseur, au point d'intersection avec l'axe posi-

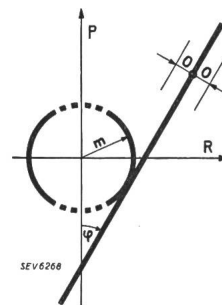


Fig. 1.

Diagramme de charge servant de programme pour le réglage de la charge réactive en fonction de la charge active, en rapport avec les réseaux à haute tension.

$P$  charge active;  $R$  charge réactive;  $m$  charge réactive à vide déterminée par les besoins de l'exploitant d'un réseau à haute tension;  $\varphi$  angle déterminé par les besoins du consommateur à pleine charge en tenant compte de  $m$ ;  $O$  insensibilité du régulateur d'énergie réactive.

tif désigné par  $R$ . Les lignes parallèles qui accompagnent la droite inclinée à la distance de  $\pm 0$  représentent la marge inévitable dont tout réglage se trouve affecté.

En réalité le rayon  $m$  sera plus petit et l'angle  $\varphi$  également. D'ailleurs tant le rayon  $m$  que l'angle  $\varphi$  doivent être adaptés aux besoins individuels de chaque exploitation.

La fig. 2 montre le schéma d'une installation de réglage de l'énergie réactive par transformateur à prises supplémentaires (5) et commandée par le régulateur automatique  $I$ .

Ce régulateur se compose d'un système wattmétrique muni de deux contacts se fermant soit l'un, soit l'autre, et d'une barre graduée sur laquelle