

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande

**Band:** 71 (1945)

**Heft:** 14

**Artikel:** Le poste transformateur de Marcelin sur Morges de la Compagnie vaudoise des forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe

**Autor:** Golay, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-54095>

### **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:** 14.03.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 13.50 francs

Etranger : 16 francs

## Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 11 francs

Etranger : 13.50 francs

## Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie  
F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud* : MM. F. CHENAU, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

Publicité :  
TARIF DES ANNONCES

Le millimètre  
(larg. 47 mm.) 20 cts.  
Tarif spécial pour fractions  
de pages.

En plus 20 % de majoration de guerre.

Rabais pour annonces  
répétées.

ANNONCES-SUISSES S.A.

5, Rue Centrale,  
LAUSANNE  
& Succursales.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Le poste transformateur de Marcelin sur Morges de la Compagnie vaudoise des Forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe*, par R. GOLAY, ingénieur. — *DIVERS* : *La distribution d'énergie en Suisse romande*. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes* : *Assemblée des délégués du 28 avril 1945, à Aarau* (suite et fin). — CARNET DES CONCOURS. — DOCUMENTATION. SERVICE DE PLACEMENT.

## Le poste transformateur de Marcelin sur Morges de la Compagnie vaudoise des Forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe

par R. GOLAY, ingénieur.

## Introduction.

Le développement prodigieux de la consommation d'énergie électrique durant ces dernières années, a entraîné inévitablement une augmentation non moins importante des puissances demandées par les abonnés, mettant ainsi fortement à contribution les installations de la Compagnie vaudoise des Forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe. Cette entreprise s'est trouvée devant l'obligation de procéder au renforcement de ses réseaux les plus sollicités et à l'aménagement d'installations nouvelles, pour être en mesure de faire face à l'accroissement de la demande d'énergie. En particulier dès 1941, la Compagnie vaudoise a dû envisager l'extension de son réseau à 40 000 volts, devenu insuffisant pour assurer un service normal de distribution dans la région Rolle-Nyon. La figure 1 reproduit schématiquement ce réseau, initialement constitué par les deux lignes « Ballaigues et Clées 40 kv » nécessaires à la marche en parallèle des centrales génératrices de La Dernière-Vallorbe et de Montcherand, par la ligne « Môtiers 40 kv » desservant une partie du réseau de l'« Electricité Neuchâteloise S. A. », et par la ligne Montcherand-Rolle,

dite « Léman 40 kv », qui alimente les Câbleries de Cossonay ainsi que toute la région de Rolle-Nyon-Coppet. L'augmentation des charges a nécessité en 1941/42 la réalisation d'une première étape d'extension, soit la

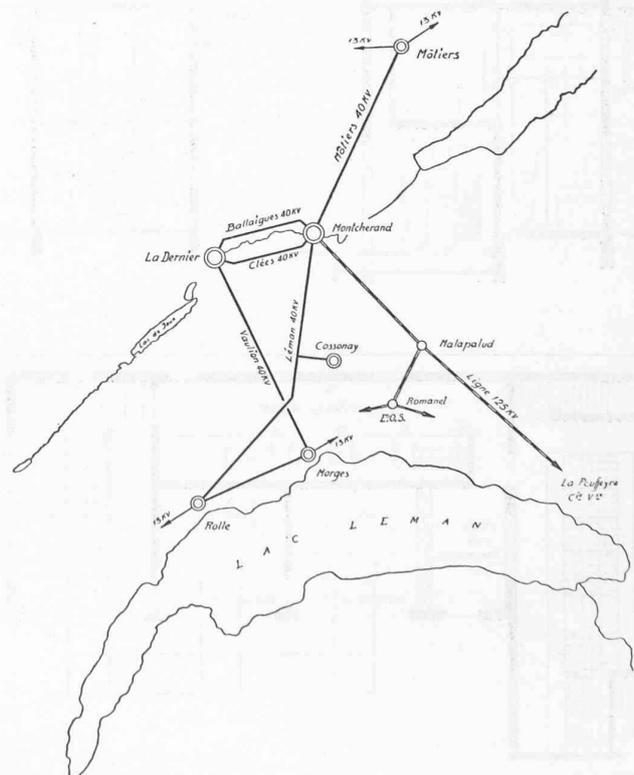


Fig. 1. — Schéma du réseau à 40 kv de la Compagnie vaudoise.



Fig. 2. — Poste de Marcelin. Vue générale de l'est.

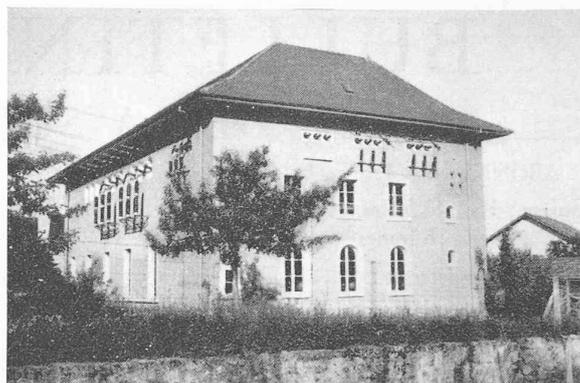


Fig. 3. — Poste de Marcelin. Vue générale de l'ouest.

construction des lignes La Dernier-Morges, dénommée « Vaulion 40 kv », et Morges-Rolle 40 kv, pour doubler la ligne « Léman ». La deuxième étape a été réalisée en 1944/45 par la construction du poste transformateur de Marcelin sur Morges. Abstraction faite de la ligne « Môtiers », le système à 40 000 volts de la Compagnie vaudoise présente donc actuellement la forme d'un huit, qui relie directement aux usines génératrices de La Dernier et de Montcherand les centres consommateurs les plus importants.

La ville de Morges était préalablement desservie par une ligne à 13 000 volts issue de l'usine de La Dernier,

et qui aboutissait à un simple poste de couplage. Les puissances absorbées par la ville de Morges, à la suite de l'électrification des ménages et du développement industriel, ont rapidement dépassé la capacité de transport très restreinte de cette ligne. Les chutes de tension inadmissibles et les exigences de la permanence du service, d'une part, l'augmentation de puissance envisagée par les Verreries de Saint-Prex, d'autre part, ont imposé la construction du poste transformateur 40/13 kv de Marcelin sur Morges. Cette nouvelle installation, aménagée avec un matériel des plus modernes, permet non seulement d'alimenter dans d'excellentes conditions toute la région Bussigny - Morges - Saint-Prex, mais donne aussi de nombreuses facilités pour des alimentations de secours, en cas d'avaries ou de travaux sur les lignes.

#### Disposition et schéma.

Le poste transformateur de Marcelin est situé à la périphérie de Morges, dans la direction nord-ouest, en bordure de la route Morges-L'Isle, quelque peu au-dessous de l'École cantonale d'agriculture. Il est constitué par un bâtiment rectangulaire en briques, de 25 m de longueur et 9 m de largeur environ, avec une aile transversale de moindre importance, formée par le bâtiment de l'ancien poste de couplage à 13 kv (fig. 2 et 3). Dans le nouveau bâtiment sont logés essentiellement les deux transformateurs et l'appareillage à 40 kv, tandis que l'ancienne construction modifiée est utilisée pour les organes à 13 kv et la distribution à 380/220 volts. La figure 4 donne, en plan et en coupe, la disposition de l'équipement électrique.

Schématiquement, le poste de Marcelin est constitué par un jeu de barres collectrices à 40 kv, sur lequel sont raccordées deux lignes ainsi que deux transformateurs 40/13 kv, qui alimentent un système de distribution 13 kv à double jeu de barres et six départs (fig. 5).

Le système à 40 kv est intercalé en série dans le réseau, c'est-à-dire que la ligne « Vaulion », qui vient de l'usine de La Dernier, constitue une arrivée, tandis que la ligne « Morges-Rolle » est un départ ; ce couplage en série présente, du fait que le réseau à 40 kv est « bou-

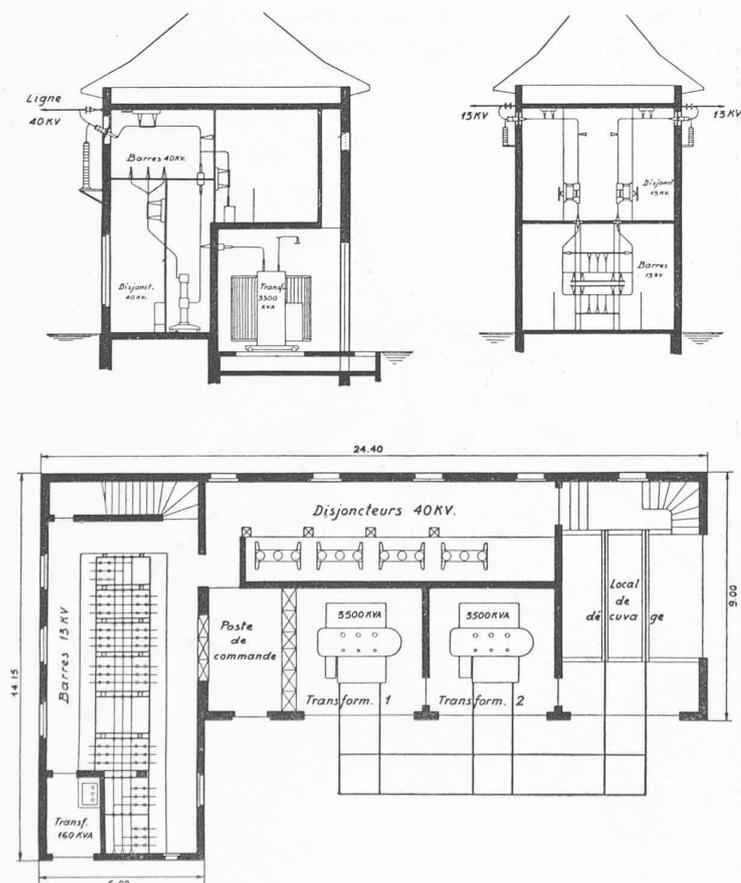


Fig. 4. — Poste de Marcelin. — Plan et coupes.

clé », l'avantage d'assurer la permanence du service à Marcelin, même en cas de déclenchement de l'une des deux lignes. D'autre part, en prévision du développement futur, la place a été prévue pour une troisième ligne à 40 kv.

Le système de distribution à 13 kv, au contraire du réseau à 40 kv, est « étoilé » ; les six départs sont indépendants les uns des autres en service normal, bien que de nombreux bouclages occasionnels soient permis en cas de manœuvres, pour libérer certains tronçons de lignes. Parmi les départs à 13 kv, « Pâquis et Parc » sont destinés à l'alimentation de la ville de Morges, « Bussigny 13 kv » dessert les villages de la région Morges-Bussigny, « Rolle 13 kv » les localités de la région Morges - Saint-Prex - Lavigny ; une ligne spéciale alimente directement les Verreries de Saint-Prex ; le feeder « L'Isle 13 kv » est normalement hors service, mais donne la faculté de recevoir l'énergie pour une partie de la distribution, par la ligne du Molendruz qui desservait préalablement la ville de Morges, avant la mise en service du poste de Marcelin.

Le courant triphasé à 380/220 volts nécessaire pour les services auxiliaires du poste, est obtenu grâce à un transformateur raccordé sur les barres à 13 kv. Ce transformateur fournit en outre le courant à quatre départs basse tension qui desservent le quartier avoisinant.

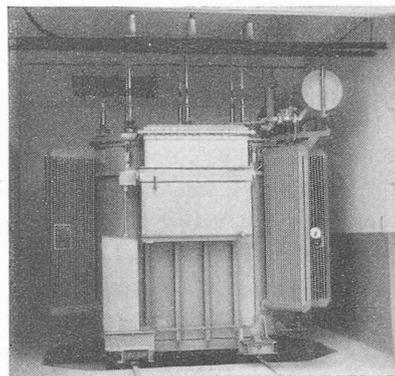


Fig. 6. — Transformateurs à gradins de 3500 kv.

**Les transformateurs et le réglage de la tension.**

Le poste de Marcelin comprend deux transformateurs triphasés à bain d'huile, de 3500 kva, fonctionnant en parallèle, qui abaissent la tension de 40 000 à 13 000 volts (fig. 6). Ces transformateurs sont du type à refroidissement naturel ; à cet effet chacun d'eux est logé dans une cellule avec cheminée d'aération qui évacue l'air chaud à l'extérieur en été, et à l'intérieur en hiver, pour tempérer les locaux. Ces transformateurs sont à cuve hermétiquement close, avec vase d'expansion et

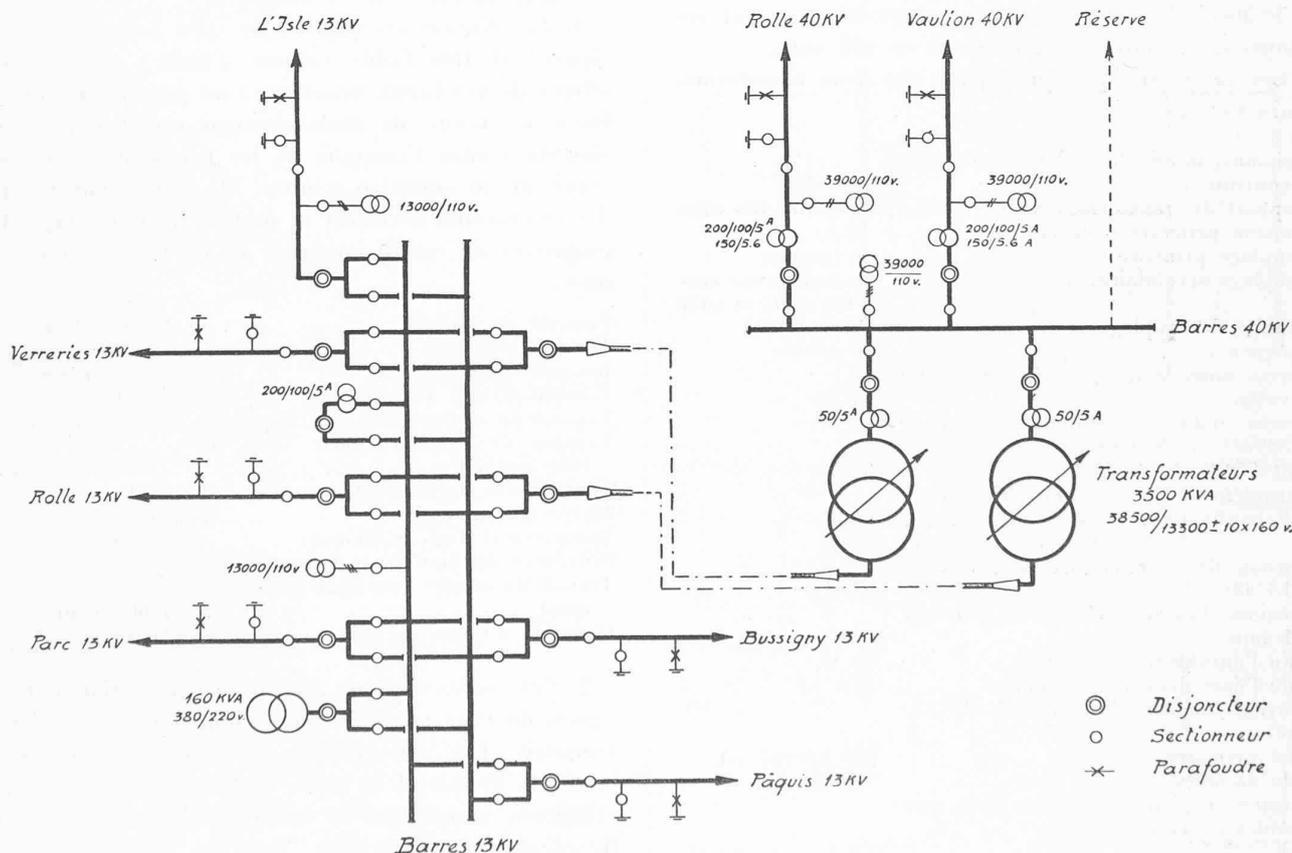


Fig. 5. — Poste de Marcelin. — Schéma à haute tension.

relais Buchholz, sensible aux dégagements gazeux à l'intérieur de la cuve.

A part leur rôle d'abaisseur de tension, ces transformateurs ont pour fonction d'assurer le réglage de la tension 13 kv. C'est pourquoi ils sont munis, sur le point neutre du côté 13 kv, d'un commutateur à gradins manœuvrable sous charge, sans interruption de courant. Chaque commutateur est actionné par une commande à ressort adossée au transformateur. Le ressort se remonte au moyen d'un moteur de 1 CV, de sorte qu'une manœuvre se fait toujours en deux temps : premièrement le remontage du ressort par le moteur, deuxièmement la détente du ressort qui fait passer le commutateur à gradins d'une touche à la suivante ou à la précédente, selon les besoins. Le réglage de la tension peut se faire à main, au moyen de boutons-poussoirs, ou automatiquement par un régulateur de tension à impulsions.

Le problème de réglage à résoudre à Marcelin était le suivant : maintenir en tout temps une tension constante sur le système de distribution à 380/220 volts du poste, quelles que soient les charges transportées par le réseau à 40 kv, en tenant compte des différents régimes des usines génératrices et des fluctuations possibles de tension sur le réseau à 125 kv de l'« Energie de l'Ouest-Suisse » (E. O. S.), avec lequel le réseau de la Compagnie vaudoise est en parallèle (fig. 1). Les calculs démontrent qu'un tel réglage est réalisable à condition d'avoir la faculté de faire varier le rapport de transformation à Marcelin, dans l'intervalle de 38 500/13 300 — 1600 volts à 38 500/13 300 + 1600 volts. Les graduateurs ont été choisis de ce fait, à dix échelons de 160 volts.

Les caractéristiques principales des deux transformateurs sont les suivantes :

Puissance nominale triphasée, en régime continu . . . . .	3500 kva
Rapport de transform. à vide 38 500/13 300 ± 10 × 160 volts	
Tension primaire maximum . . . . .	40 kv
Couplage primaire . . . . .	en triangle
Couplage secondaire . . . . .	en étoile avec neutre sorti et isolé
Groupe de couplage . . . . .	C <sub>1</sub>
Fréquence . . . . .	50 pér/sec
Pertes dans le fer pour 38 500/13 300 volts . . . . .	11 kw
Pertes dans les enroulements pour 38 500/13 300 volts, à pleine charge et 75° C . . . . .	33 kw
Enroulements exécutés en aluminium :	
Echauffements : dans l'huile . . . . .	60° C
dans les enroulem. . . . .	70° C
Tension de court-circuit pour 38 500/13 300 v . . . . .	7 %
Tensions d'essais à 50 pér/sec pendant 1 min. :	
de l'enroulement primaire . . . . .	85 kv
de l'enroulement secondaire . . . . .	37,5 kv
Tensions de contournement à 50 pér/sec :	
du primaire . . . . .	130 kv val. eff.
du secondaire . . . . .	90 kv val. eff.
Tensions de contournement 50 % aux ondes de choc normales :	
du primaire . . . . .	230 kv val. amplif.
du secondaire . . . . .	170 kv val. amplif.

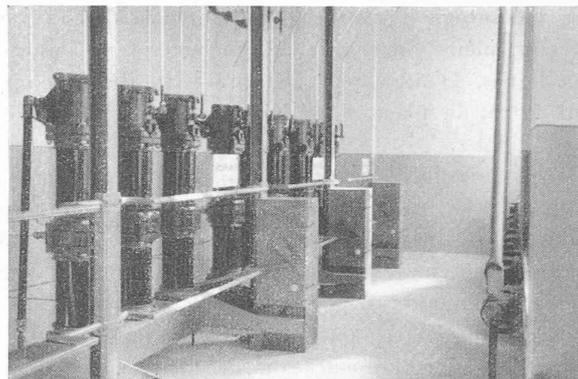


Fig. 7. — Disjoncteur 40 kv à faible volume d'huile.

Poids d'un transformateur complet, sans l'huile . . . . .	11 tonnes environ
Poids de l'huile . . . . .	5 tonnes environ

Un engin de levage d'une force de 12 tonnes est installé dans un local aménagé spécialement pour le chargement, le déchargement et le décuillage des transformateurs.

#### L'appareillage à 40 kv.

L'ensemble de cet appareillage est de la série normale à 45 kv, avec tension d'essai de 119 kv. Outre les nombreux isolateurs, les connexions exécutées en tube d'aluminium de 20 mm de diamètre extérieur et 14 mm de diamètre intérieur, il comprend :

1. *Les disjoncteurs* (fig. 7) du type colonne, à pôles séparés et très faible volume d'huile ; ces appareils offrent de nombreux avantages : un pouvoir de rupture élevé, un temps de déclenchement court, une grande sécurité contre l'incendie et les explosions, un poids réduit et un entretien minime. Ils se manœuvrent par des commandes à ressort et moteur de remontage. Les propriétés de ces disjoncteurs et de leurs commandes sont :

Pouvoir de rupture . . . . .	650 000 kva
Tension nominale . . . . .	45 kv
Intensité nominale . . . . .	350 ampères
Tension d'essai à 50 pér/sec . . . . .	119 kv
Tension de contournement à 50 pér/sec . . . . .	147 kv val. eff.
Tension de contournement 50 % au choc normal . . . . .	222 kv val. amplif.
Temps total de déclenchement . . . . .	0,09 sec
Durée de l'arc . . . . .	0,03 sec
Temps total d'enclenchement . . . . .	0,25 sec
Puissance du moteur de la commande . . . . .	1 CV
Travail du ressort lors d'un enclenchement . . . . .	7200 kgem
Quantité d'huile par pôle . . . . .	18 kg

2. *Les sectionneurs* de barres et les sectionneurs de lignes, du type tripolaire avec commande par levier et tringlerie. Les sectionneurs de lignes sont munis de couteaux de mise à la terre, également commandés par tringlerie, permettant de court-circuiter à la terre les lignes en cas de travaux. Tous les sectionneurs sont construits pour une intensité nominale de 350 ampères.

3. *Les transformateurs d'intensité à sec*, du type traversée à prémagnétisation commandée. Sur les lignes, les transformateurs d'intensité sont à deux noyaux, par suite des exigences de la protection contre les courts-circuits et les mises à terre. Les caractéristiques de ces appareils sont :

- a) Pour le noyau 1, destiné à la protection contre les courts-circuits et la mesure :
- |   |               |
|---|---------------|
| Rapport de transformation . . . . .   | 100/5 ampères |
| avec commutation possible à . . . . .   | 200/5 ampères |
| Puissance . . . . .   | 15 va         |
| Erreurs de mesure à pleine charge, c'est-à-dire pour une charge de 0,6 ohm à $\cos \varphi = 0,8$ au secondaire : |               |
| pour le courant nominal . . . . .   | 2 %           |
| pour 10 fois le courant nominal . . . . .   | 2,4 %         |
| pour $\frac{1}{3}$ du courant nominal . . . . .   | 3 %           |
- b) Pour le noyau 2, utilisé pour la protection contre les mises à terre simples :
- |  |                 |
|--|-----------------|
| Rapport de transformation . . . . .                              | 150/5,6 ampères |
| Puissance . . . . .  | 20 va           |
| Erreurs de mesure pour le courant nominal à $\cos \varphi = 1$ : |                 |
| pour la pleine charge . . . . .                                  | 2,6 %           |
| sans charge . . . . .  | 0,9 %           |
| Erreur de mesure sur un courant de terre de 10 ampères . . . . . | 13 à 20 %       |
| de 20 ampères . . . . .  | 10 à 12 %       |

Sur les transformateurs de 3500 kva, les transformateurs d'intensité n'ont qu'un seul noyau, suffisant pour la mesure et les relais de protection :

Rapport de transformation . . . . .	50/5 ampères
Puissance . . . . .	20 va
Erreurs de mesure à pleine charge sous $\cos \varphi = 0,8$ , pour courants compris entre $\frac{1}{3}$ et 10 fois le courant nominal	< 5,8 %

4. *Les transformateurs de tension* (fig. 8) de lignes et de barres, monophasés, à bain d'huile.

Leur rapport de transformation est de . . . . .	39 000/110 volts
Leur puissance est de . . . . .	100 va
La précision de la mesure correspond à la classe 1 ; erreur . . . . .	< 1 %

Sur chacune des lignes un de ces appareils est raccordé entre deux phases pour le contrôle de la tension, tandis que sur les barres collectrices, trois appareils sont

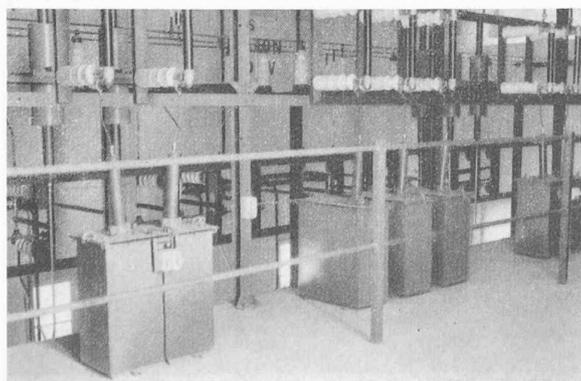


Fig. 8. — Barres et transformateurs de tension 40 kv.

raccordés entre phases et terre ; ils constituent un groupe triphasé sur lequel sont branchés des organes de contrôle et de protection. Ce groupe de transformateurs de tension joue d'autre part le rôle de bobines d'écoulement pour les charges statiques du réseau.

5. *Les parafoudres unipolaires* du type le plus moderne, installés sur consoles, à l'extérieur du bâtiment (fig. 3). Ces appareils à caractéristique de soupape, grâce à leur résistance variable, ont pour mission de protéger contre les surtensions atmosphériques l'ensemble de l'équipement à 40 kv de l'installation. Les décharges atmosphériques engendrent en effet, dans les réseaux, des ondes de surtension à front raide, qui se propagent dans les lignes, arrivent dans les postes, où elles soumettent les isolants à des contraintes dangereuses, provoquant de graves avaries. Le fonctionnement des parafoudres consiste à intercepter et à écouler à la terre ces ondes dangereuses. Leurs propriétés se résument comme suit :

Pouvoir d'écoulement . . . . .	4000 ampères
Tension d'amorçage à 50 p/ser . . . . .	120 kv val. efficace
Tension d'amorçage 50 % pour ondes de choc normales . . . . .	100 kv val. amplif.
Tension résiduelle pour ondes normales et 4000 ampères . . . . .	170 kv val. amplif.

Les conditions d'un bon fonctionnement de la protection sont remplies, car :

1° la tension d'amorçage des parafoudres à 50 p/sec est supérieure aux surtensions de service qui peuvent se produire lors de phénomènes transitoires ou lors de mise à terre ;

2° la tension résiduelle de 170 kv est bien inférieure à la tension de contournement aux ondes de choc de l'appareillage de la série 45 kv, qui s'élève à 220 kv.

Il n'y a donc pas risque de fonctionnement intempêtif des parafoudres ou d'amorçage d'arcs à la terre dans l'installation. De nombreux parafoudres de ce genre sont du reste en service depuis plusieurs années sur les réseaux de la Compagnie vaudoise, et assurent une protection très efficace.

Comme appareil de contrôle, un compteur de décharge est placé sur chaque ligne. Il enregistre le nombre de fonctionnements des parafoudres.

#### L'appareillage à 13 kv.

L'installation à 13 kv est dans son ensemble isolée pour 20 kv. (Tension d'essai 64 kv.)

Les connexions sont exécutées en tubes d'aluminium de 20/14 mm de diamètre, à l'exception des raccords en fil d'aluminium de 8 mm de diamètre, des transformateurs de tension et des connexions au secondaire des transformateurs de 3500 kva, réalisées au moyen de câbles unipolaires sous plomb, asphaltés, à conducteur en aluminium de 95 mm<sup>2</sup> de section.

Font partie de l'appareillage à 13 kv :

1. *Les disjoncteurs* (fig. 9) à pôles séparés et très faible volume d'huile, dont le principe de fonctionnement est le même que celui des disjoncteurs à 40 kv,

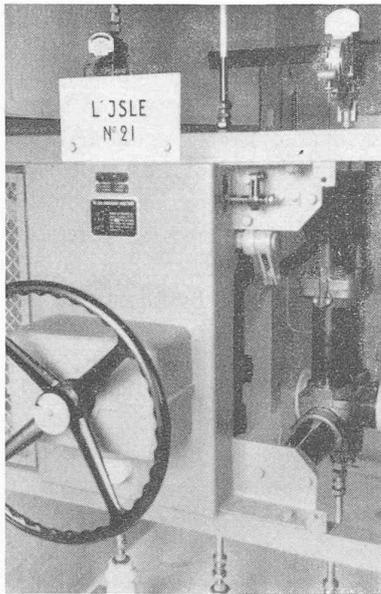


Fig. 9 a. — Disjoncteur 13 kv à faible volume d'huile. Vue de face.

bien que leur construction soit différente. La manœuvre de ces disjoncteurs se fait simplement à main, au moyen d'un volant. Les garanties données par le constructeur sont :

Pouvoir de rupture . . . . .	200 000 kva
Tension nominale . . . . .	20 kv
Intensité nominale . . . . .	600 ampères
Tension d'essai à 50 pér/sec . . . . .	64 kv
Tension de contournement à 50 pér/sec . . . . .	90 kv val. efficace
Tension de contournement 50 % au choc normal . . . . .	130 kv val. amplif.
Temps total minimum de déclenchement par relais directs à courant maximum . . . . .	0,12 sec
Durée de l'arc . . . . .	0,03 sec
Quantité d'huile par pôle . . . . .	4,8 kg

2. Les nombreux *sectionneurs* simples pour les raccordements sur les barres collectrices, ou avec couteaux de mise à la terre pour les départs de lignes ; ces appareils ont une intensité nominale de 350 ampères ; leur manœuvre a lieu par des commandes à tringlerie (fig. 10).



Fig. 10. — Sectionneurs et barres 13 kv.

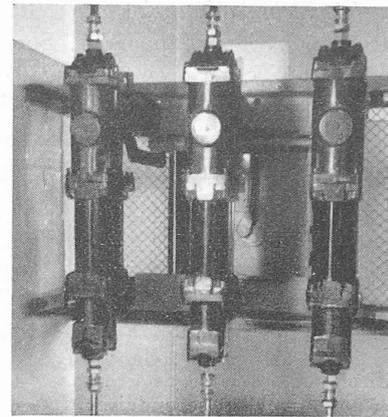


Fig. 9 b. — Disjoncteur 13 kv à faible volume d'huile. Vue arrière.

3. Les *transformateurs d'intensité* placés sur le pont qui relie les deux jeux de barres. Ces transformateurs du type traversée, à sec et à un seul noyau, sont essentiellement destinés à la mesure. Ils sont construits pour

un rapport de transformation de . . . . .	100/5 ampères
commutable à . . . . .	200/5 ampères
une puissance de . . . . .	15 va
une erreur de mesure inférieure à . . . . .	0,5 % (classe 0,5)

4. Les *transformateurs de tension* monophasés, d'un nouveau type à sec, dont l'un est installé entre phases, sur l'arrivée L'Isle 13 kv pour le contrôle de la tension, et les trois autres sur l'un des jeux de barres, entre phases et terre. Ce groupe triphasé (fig. 11) qui permet l'écoulement des charges statiques, est utilisé pour des organes de contrôle et de mesure.

Ces transformateurs de tension répondent aux données suivantes :

Rapport de transformation . . . . .	13 000/110 volts
Puissance . . . . .	100 va
Exactitude de la mesure selon classe 0,5 ; erreur inférieure à . . . . .	0,5 %

5. Le *transformateur triphasé* à bain d'huile, abaissant la tension de 13 000 volts à 380/220 volts, pour l'alimentation du secteur et des services auxiliaires du poste. Il a :

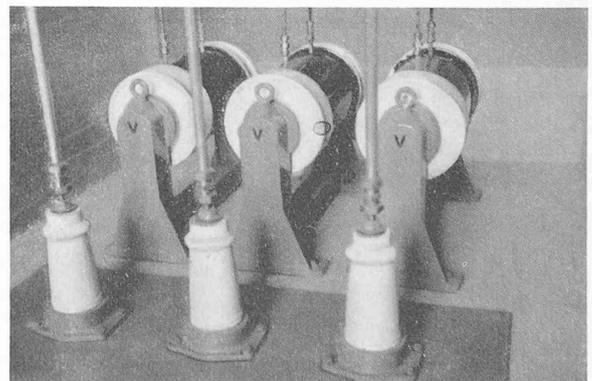


Fig. 11. — Transformateurs de tension 13 kv, à sec.

une puissance en régime continu de	160 kva
un rapport de transformation à vide	
de . . . . .	13 000/399-411-423-435 volts
	(tension composée)
un couplage primaire . . . . .	en étoile
un couplage secondaire . . . . .	en zig-zag avec
	neutre sorti et à
	la terre
une tension de court-circuit pour	
13 000/399 volts de . . . . .	4,7 %
Pertes dans le fer pour 13 000/399 v	750 w
Pertes dans le cuivre, à pleine charge	
et 13 000/399 volts . . . . .	4000 w

Ce transformateur est identique à ceux qui sont normalement utilisés par la Compagnie vaudoise dans les stations transformatrices de quelque importance.

6. *Les parafoudres* unipolaires, montés en façade au moyen de fixations à colliers, et dont le fonctionnement est en principe le même que celui des parafoudres à 40 kv. Ces appareils de protection sont ajustés pour

un courant d'écoulement de . . . .	4000 ampères
une tension d'amorçage à 50 pér/sec	
de . . . . .	39 kv val. efficace
une tension d'amorçage 50 % au	
choc normal de . . . . .	66 kv val. amplif.
une tension résiduelle au choc nor-	
mal pour 4000 ampères de . . . .	66 kv val. amplif.

Comme dans le cas de l'appareillage à 40 kv, la protection de l'équipement à 13 kv est assurée, car les tensions d'amorçage et résiduelle des parafoudres sont nettement supérieures aux surtensions maximum de service, et inférieures à la tension de contournement au choc de l'appareillage.

#### Les tableaux, l'appareillage auxiliaire de mesure et de protection contre les courts-circuits et les mises à terre.

Le poste de Marcelin comporte un local de commande et de contrôle dans lequel sont installés deux tableaux du type encastré, avec panneaux amovibles à l'arrière, permettant un accès facile aux bornes des appareils et aux connexions. L'un de ces tableaux se rapporte au système à 40 kv, l'autre au système à 13 kv et aux services auxiliaires. De plus, un tableau spécial est aménagé pour l'alimentation du quartier de Marcelin. Ce tableau est logé à part, avec le transformateur de 160 kva, constituant ainsi une station transformatrice de secteur.

1. *Le tableau 40 kv* (fig. 12) se compose de six panneaux : deux pour les transformateurs de 3500 kva, un pour les barres 40 kv, trois pour les lignes 40 kv, dont l'un reste libre pour une extension future.

Chaque panneau de transformateur comprend :

- un ampèremètre ;
- deux relais à courant maximum à temporisation indépendante du courant, pour la protection contre les courts-circuits ;
- un relais thermique pour la protection contre les surcharges ;
- un coffret pour le moteur de la commande du commutateur à gradins ;
- un indicateur de position du graduateur ;
- deux boutons-poussoirs pour la commande à main du graduateur ;

- deux relais de blocage empêchant la manœuvre du commutateur à gradins lors de surintensités, afin de protéger les contacts ;
- un commutateur pour la marche en parallèle ou individuelle des transformateurs ;
- un relais à clapet fonctionnant en cas de panne mécanique de la commande du graduateur ;
- deux relais à clapet pour la protection système Buchholz du transformateur, qui fonctionne en cas de dégagement gazeux à l'intérieur de la cuve, lors de défaut interne.

Les deux panneaux des transformateurs ont en outre les appareils communs suivants :

- un régulateur de tension à impulsions, soumis à la tension de 380 volts, et qui donne les ordres de manœuvres à la commande des commutateurs à gradins, lorsque se produisent des écarts durables de cette tension ;
- un relais temporisé qui empêche le fonctionnement automatique intempestif des graduateurs, lors de fluctuations de tension de très courte durée ;
- un commutateur permettant de passer du réglage automatique au réglage à main, et inversement ;
- une lampe-témoin branchée sur le circuit de la tension à régler ;
- un relais temporisé avec un relais à clapet, qui lors de marche en parallèle des deux transformateurs, empêchent toute manœuvre des graduateurs, en cas de panne dans l'une des commandes. Ce verrouillage a pour but d'assurer une simultanéité de manœuvre des deux transformateurs.

Le panneau des barres à 40 kv comporte simplement :

- un voltmètre qui permet de contrôler les trois tensions composées grâce à un commutateur ;
- trois lampes branchées entre phases et terre, décelant l'existence d'une mise à terre sur le réseau à 40 kv, le neutre de celui-ci étant relié à la terre indirectement, par une bobine d'extinction, à l'usine de La Dernier ;
- un coffret de protection pour les circuits des transformateurs de tension.

Les panneaux des lignes à 40 kv comprennent chacun :

- un ampèremètre et un voltmètre ;
- un relais directionnel de terre ;
- un système de protection contre les courts-circuits, et en outre
- un relais de tension de point neutre et un contacteur temporisé, appareils communs aux deux lignes.

Au point de vue de la protection contre les mises à terre, le système des lampes est très sensible, mais ne

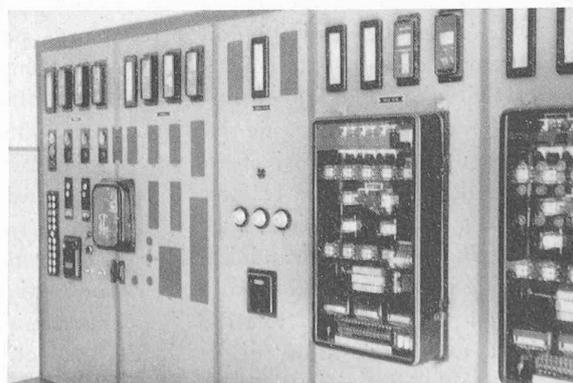


Fig. 12. — Tableau 40 kv. Vue d'ensemble.

donne aucune indication sur la ligne défectueuse. C'est pourquoi le réseau à 40 kv de la Compagnie vaudoise est équipé dans chaque poste et sur chaque ligne, d'un dispositif directionnel qui indique sur quelle ligne se trouve la mise à terre. Le fonctionnement du système est en principe le suivant :

Lors de l'existence d'une mise à terre simple, les deux phases saines ainsi que le point neutre du réseau, sont soumis à une élévation de potentiel par rapport au sol qui a pour conséquence de faire circuler dans le défaut, premièrement, un courant capacitif par suite de l'effet de capacité contre terre du réseau, et secondement, un courant inductif dû à la présence de la bobine d'extinction reliant le neutre à la terre, à l'usine de La Dernière. Ces deux courants sont de sens opposés, de sorte que l'intensité résultante au défaut est minime, permettant de maintenir le service pendant la recherche de la mise à terre. L'élévation de tension du point neutre fait fonctionner d'autre part, à l'usine de La Dernière, un relais de tension qui enclenche pendant quelques secondes une résistance de point neutre, en parallèle sur la bobine d'extinction. Cette résistance provoque alors la circulation de courants ohmiques, dans le défaut et dans la phase défectueuse du réseau. Simultanément les relais de tension du point neutre des différents postes mettent en service des relais wattmétriques, qui indiquent la direction du défaut, sous l'effet combiné des courants ohmiques et de la tension du point neutre. D'après les indications données par ces relais directionnels, il est aisé de connaître sur quelle ligne se trouve le défaut à la terre. De tels dispositifs de signalisation des mises à terre simples sont en service depuis plusieurs années sur les réseaux à 13 kv de la Compagnie vaudoise, où ils donnent d'excellents résultats.

La protection contre les courts-circuits d'un réseau bouclé tel que le réseau à 40 kv de la Compagnie vaudoise nécessite un appareillage fort complexe. La condition essentielle qui doit être remplie est la sélectivité : c'est-à-dire que lors d'un court-circuit, seule doit être mise hors service la ligne défectueuse, afin de permettre la continuité du service avec les lignes saines, sans qu'il en résulte aucune interruption de courant pour les abonnés. C'est là que réside le principal avantage du réseau bouclé. Cette sélectivité doit être assurée pour tous les genres de courts-circuits : court-circuit bipolaire, court-circuit tripolaire et mises à terre doubles. En outre, le déclenchement de la ligne avariée doit avoir lieu en un temps excessivement court, pour éviter des troubles dans la marche en parallèle des centrales. Pour répondre à ces conditions multiples, sur le réseau à 40 kv de la Compagnie vaudoise, il a fallu recourir au système de la protection de distance à caractéristique en gradins ; à cet effet, chacune des lignes est équipée à ses deux extrémités d'un dispositif de protection comportant toute une série d'organes (fig. 12, panneau de droite) :

- trois relais de déblocage à impédance, qui en cas de court-circuit mettent instantanément en service le dispositif de protection ;
- un relais à champ tournant qui détermine la distance du court-circuit, par comparaison de l'impédance de la ligne avec une impédance bien déterminée ;
- un relais chronométrique ;
- un relais de terre intervenant dans les cas de mises à terre doubles ;
- un relais supplémentaire pour les courts-circuits tripolaires ;
- deux relais de sécurité pour éviter des déclenchements intempestifs, lors de phénomènes pendulaires ;
- une impédance de comparaison, des transformateurs de tension et d'intensité, pour l'ajustage de la caractéristique en gradins ;
- une série de contacteurs auxiliaires et de signalisation.

Grâce au fonctionnement combiné de l'ensemble de ces organes, la caractéristique de déclenchement, c'est-à-dire la temporisation du déclenchement en fonction de la distance du court-circuit, est très sensiblement la même quel que soit le genre de court-circuit. La représentation de ces temps de déclenchement (temps propres de la protection) en fonction de la distance, pour le réseau à 40 kv de la figure 1, développé, donne les caractéristiques étagées de la figure 13, qui font ressortir

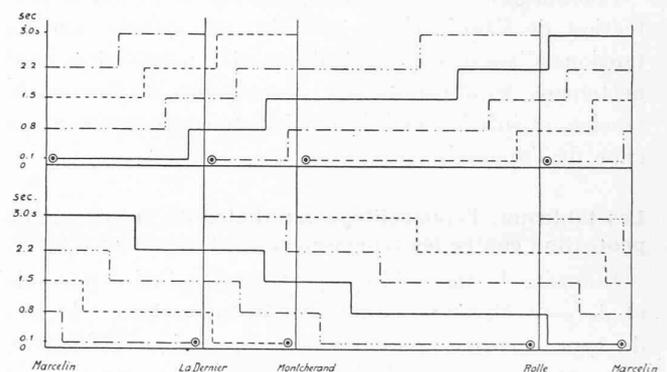


Fig. 13. — Caractéristiques « Temps-distance » des relais de distance du réseau à 40 kv de la Compagnie vaudoise.

nettement que les relais les plus voisins d'un défaut, mettent hors service la ligne affectée en un temps très court (premier gradin = 0,1 sec), avant qu'aucun déclenchement ait eu le temps de se produire en d'autres points du réseau. Les gradins supérieurs (0,8 ; 1,5 ; 2,2 ; et 3,0 sec) jouent le rôle de réserve, en cas d'anomalie éventuelle dans le fonctionnement de la protection en d'autres postes. Ce système de protection de distance a été expérimenté par la Compagnie vaudoise, sur son réseau à 40 kv, bien avant la mise en service du poste de Marcelin. Il a donné entière satisfaction.

2. Le tableau 13 kv et des services auxiliaires est composé de trois panneaux : l'un pour la distribution à 13 kv, le deuxième pour la distribution interne du courant triphasé à 380/220 volts, et le troisième pour le courant continu à 60 volts (fig. 14).

Le panneau 13 kv est équipé avec

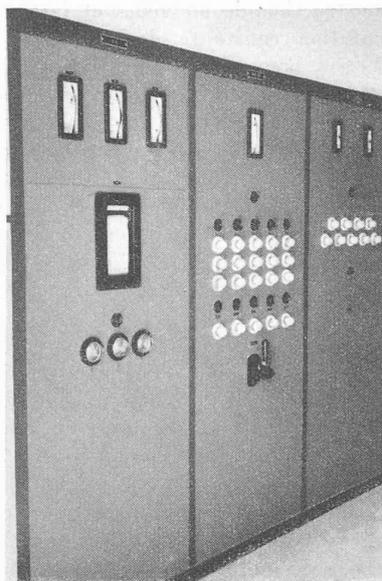


Fig. 14. — Tableau 13 kv et des services auxiliaires. Vue d'ensemble.

- a) un ampèremètre qui mesure le débit passant d'un jeu de barres dans l'autre ; il contrôle normalement la charge de la ville de Morges, dont les départs sont branchés en exclusivité sur l'un des jeux de barres collectrices ;
- b) un wattmètre contrôlant la puissance absorbée par la ville de Morges ;
- c) un voltmètre enregistreur avec commutateur, indiquant la tension composée fournie par les transformateurs à gradins ;
- d) un voltmètre branché sur l'arrivée L'Isle 13 kv alimentée par l'usine de La Dernier ;
- e) trois lampes de terre décelant les défauts à la terre sur le réseau à 13 kv alimenté par les transformateurs du poste de Marcelin.

La place a été prévue pour l'installation ultérieure de compteurs.

Ce panneau ne comporte aucun dispositif de protection pour les lignes à 13 kv. Celles-ci sont en effet munies de relais directs à courant maximum et temporisation indépendante, montés sur les disjoncteurs de départ. Ces relais sont surmontés de petits ampèremètres qui indiquent la charge de chacune des lignes.

Le panneau 380/220 volts comprend simplement un raccordement par câble au transformateur de 160 kva, qui alimente un jeu de barres à dix départs nécessaires pour les organes à courant alternatif, soit : l'installation d'éclairage, les commandes des disjoncteurs à 40 kv, les commandes des gradateurs, le dispositif de charge de la batterie à courant continu. Chacun de ces départs, ainsi que l'arrivée du transformateur, est muni d'un interrupteur et protégé par des coupe-circuits. En outre, un voltmètre avec commutateur contrôle la tension réglée par les transformateurs.

Le tableau spécial à quatre départs 380/220 volts desservant le secteur de Marcelin est équipé avec des disjoncteurs à sec, type 250 ampères, munis de déclencheurs thermiques et d'une protection électro-magnétique.

Le courant continu indispensable pour les services auxiliaires est produit par une batterie d'accumulateurs au cadmium-nickel, de 60 volts et 40 ampère-heures, à 48 éléments, chargée au moyen d'un redresseur à sec, au sélénium, permettant la charge rapide en huit heures ou la charge lente en permanence. Le redresseur est connecté sur le courant alternatif à 220 volts. Le panneau à courant continu comporte une distribution à six lignes pour l'éclairage de secours, les circuits auxiliaires de tous les relais, les circuits de déclenchement, d'alarme et de signalisation. Un ampèremètre et un voltmètre contrôlent le débit et la tension de la batterie ; un commutateur donne la possibilité de passer de la charge lente à la charge rapide.

Toute perturbation ou marche anormale de l'installation, telle que déclenchement de disjoncteur, échauffement inadmissible des transformateurs, dégagement gazeux à l'intérieur des transformateurs, avarie des gradateurs, etc., provoque le fonctionnement au poste, d'une sonnerie d'alarme. Ce dispositif avertisseur est insuffisant à lui seul pour une installation non surveillée en permanence. C'est pourquoi l'alarme est transmise simultanément, par le réseau téléphonique, au bureau de la Compagnie vaudoise à Morges, ainsi que chez deux agents. Le principe de cette transmission consiste à utiliser comme circuit d'alarme un lacet téléphonique de station ordinaire, et la terre. On fait alors passer dans le circuit, sous une tension de 70 volts entre conducteurs et terre, un courant alternatif à 50 pér/sec qui se superpose au courant téléphonique. Grâce à des dispositifs spéciaux, la transmission du signal d'alarme et la transmission de conversations téléphoniques sont complètement indépendantes et n'ont aucune influence l'une sur l'autre.

#### Entreprises et fournisseurs.

Les entreprises suivantes ont participé à la construction du bâtiment du poste de Marcelin, sous la direction de M. André, architecte à Morges : Bataillard & C<sup>ie</sup>, à Morges, pour les terrassements et la maçonnerie ; Blanchard, à Morges, pour la charpente ; Engler, à Morges, pour la menuiserie ; Zobrist, à Morges, pour la couverture ; Ernst, à Morges, pour la serrurerie et la charpente métallique ; Demenga, à Morges, pour la vitrerie et la peinture ; Hartmann, à Bienne, pour les volets à rouleaux ; les Ateliers de constructions mécaniques de Vevey, pour le treuil de 12 tonnes et les rails.

La fourniture de l'équipement électrique a été confiée à différentes maisons : les deux transformateurs à gradins de 3500 kva, aux Ateliers de construction CErlikon ; l'appareillage à 40 et 13 kv, à Sprecher & Schuh, à Aarau ; les transformateurs de mesure, à Moser Glaser, à Bâle ; les tableaux, les dispositifs de protection et de contrôle, à Brown-Boveri, à Baden.

Le projet complet de l'installation et tout le montage de la partie électro-mécanique ont été réalisés par le personnel de la Compagnie vaudoise.

### Mise en service.

Le poste de Marcelin a été mis en service le 18 février 1945 avec le premier transformateur de 3500 kva. A cette occasion, tous les essais de contrôle ont été effectués, et dès lors cette nouvelle installation de la Compagnie vaudoise se comporte excellemment en service normal. Le deuxième transformateur sera également en service prochainement.

## DIVERS

### La distribution d'énergie en Suisse romande.

*Nous publions sous ce titre quelques passages d'une conférence faite, le 20 mars 1945, à Zurich, par M. R. A. Schmidt, ingénieur, directeur de la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, à Lausanne, devant les membres de l'Union suisse des consommateurs d'énergie.*

*Ce texte a paru « in extenso » au numéro 5, 1945, du Consommateur d'énergie, organe de cette Union. Nos lecteurs trouveront, en outre, dans le même périodique, des exposés similaires ayant trait aux réseaux de Suisse alémanique.*

(Réd.)

#### 1. Origines et développement de la distribution d'énergie.

C'est à la fin de l'année 1886 que fut mis en service, en Suisse, le premier transport à distance d'énergie électrique, transport considéré aussi comme le premier de ce genre en Europe. Il était effectué par une ligne d'environ 8 km de longueur reliant une petite centrale hydroélectrique de 50 HP située à Kriegstetten, à une fabrique de vis pour l'horlogerie se trouvant à Soleure. L'énergie était transportée sous forme de courant continu à la tension de 1250/2500 volts par un système à trois conducteurs. Ces derniers étaient constitués par du fil de cuivre de 6 mm de diamètre, porté par des poteaux de bois plantés à 40 m les uns des autres. Les isolateurs, en porcelaine, étaient du type à huile.

Les bons résultats de ce transport d'énergie dont le rendement était de 70 %, ce dont à l'époque on fut très fier, montra qu'il n'était plus nécessaire de consommer l'électricité au lieu où elle était produite ; on vit la possibilité de construire des usines génératrices aux endroits où il y a des forces hydrauliques favorables, et de conduire l'énergie produite à des centres de consommation situés à une certaine distance, pas trop grande cependant. C'était un premier pas.

Mais le pas décisif fut franchi en 1891, au moment de l'exposition de Francfort, lorsque le génial et célèbre C. E. L. Brown, alors directeur d'Erlikon puis fondateur de B. B. C., qui avait déjà présidé à l'établissement de la ligne Kriegstetten-Soleure, mit en service la ligne de transport bien connue de Lauffen à Francfort, d'une longueur de 175 km. Toutefois, il ne s'agissait plus ici de courant continu, mais de courants alternatifs polyphasés produits par des alternateurs à la tension de 86 volts, celle-ci étant portée à 25 000 volts, tension très élevée pour l'époque, au moyen de transformateurs à trois colonnes et à bain d'huile.

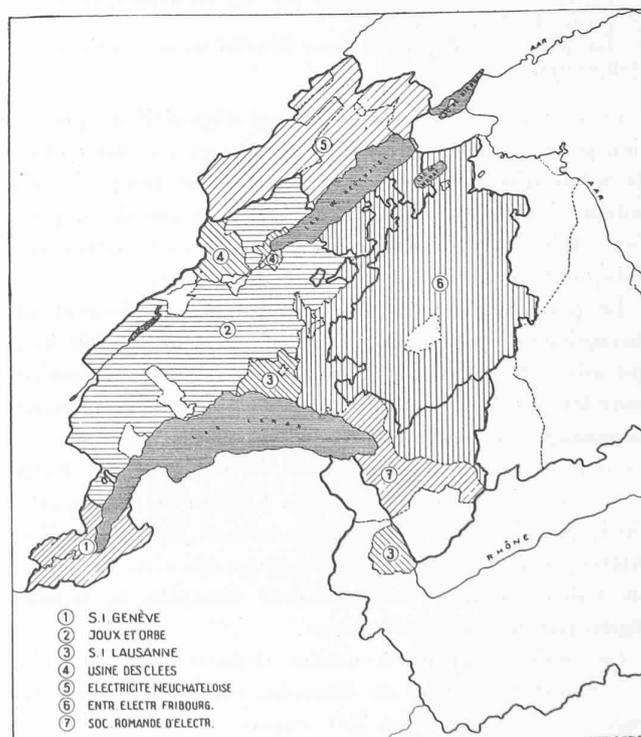
La pleine réussite de cette installation donna un grand essor à la construction des lignes de transport d'énergie et des transformateurs. Les puissances à transporter augmentant sans cesse, on utilisa des tensions de plus en plus élevées pour en arriver actuellement chez nous à la tension de 150 kV qui, avec le temps, sera encore dépassée.

Tant la construction de nouvelles et importantes usines que l'augmentation constante de la charge des réseaux firent voir d'assez bonne heure aux entreprises électriques qu'il devenait nécessaire de suivre un programme commun d'économie électrique, d'abord régional puis pour l'ensemble du pays, et de disposer des moyens susceptibles de réaliser cette collaboration. Il ne fallait pas, en effet, que dans certaines régions, des usines arrivant à saturation et ne pouvant plus faire face à la demande, se voient dans l'obligation de freiner le développement de leurs réseaux et de restreindre leurs fournitures, ou encore de recourir à une production thermique très onéreuse pour répondre aux nécessités les plus pressantes, alors que dans d'autres parties du pays on aurait encore des disponibilités dans les usines ou des forces hydrauliques à équiper. Il ne fallait pas que d'importantes quantités d'énergie restassent inutilisées dans certains lieux, alors qu'elles auraient fait grand besoin ailleurs. D'autre part, il ne s'agissait pas seulement de relier entre eux les grands centres de production et de consommation, mais aussi de combiner les forces alpestres accumulées ou non et à haute chute avec celles de nos fleuves et rivières à basse chute.

C'est ce que comprirent rapidement les grandes centrales suisses et c'est ce qui leur fit établir les lignes à très haute tension et à grande capacité de transport qui traversent actuellement notre pays de l'est à l'ouest et du nord au sud. Seul un tel réseau d'ensemble permet de tirer tout le parti possible de nos forces hydrauliques, d'en intensifier l'aménagement et l'utilisation, d'assurer la sécurité et la régularité des services de distribution, d'éviter la multiplicité des lignes et par là aussi des immobilisations injustifiées.

#### 2. La distribution d'énergie en Suisse romande.

La distribution d'énergie en Suisse romande dont je dois maintenant vous causer, est assurée par plusieurs entreprises électriques cantonales, communales, privées ou mixtes, qui



Zone de distribution des actionnaires d'EOS en Suisse romande.

(Lignes continues : limite des cantons).