

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 35 (1944)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Le dispositif de comptage de la station transformatrice de Verbois  
**Autor:** Roesgen, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056945>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

## RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens  
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

## ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 5 17 42  
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXVe Année

N° 6

Mercredi, 22 Mars 1944

## Le dispositif de comptage de la station transformatrice de Verbois

Par M. Roesgen, Genève

621.317.382  
621.317.785

L'auteur expose tout d'abord le problème de comptage suscité par l'emploi d'un transformateur à 3 enroulements pour effectuer des échanges d'énergie entre 3 entreprises d'électricité.

Il décrit ensuite le dispositif de mesure adopté; celui-ci est réalisé au moyen de compteurs d'énergie et de compteurs de pertes dans le cuivre, asservis à des relais wattmétriques, de façon que chaque minuterie soit affectée à la mesure d'un cas particulier d'échange. L'article se termine par des considérations générales sur différents modes de répartition des pertes de transformation entre les entreprises intéressées, ces répartitions pouvant être sans autre effectuées au moyen des indications des compteurs de pertes.

Der Verfasser behandelt die Fragen, die sich aus der Zählung der Energie beim Austausch zwischen 3 Elektrizitätsunternehmungen durch Dreiwicklungstransformatoren ergeben.

Es werden zuerst die Messinstrumente beschrieben; diese umfassen kWh-Zähler, Ampere-Quadrat-Stunden-Zähler sowie wattmetrische Relais, so dass jedes Zählwerk einem besondern Betriebsfall im Energieaustausch zugeordnet ist. Im letzten Teil des Artikels werden allgemeine Betrachtungen über die Verteilung der Verluste der Transformatoren auf die beteiligten Unternehmungen angestellt. Gestützt auf die Angaben der vorhandenen Zähler zur Erfassung der Kupferverluste ist die Aufteilung der Verluste ohne weiteres möglich.

### Exposé du problème

L'usine hydroélectrique de Verbois, construite, par les Services industriels de Genève, sur le Rhône à proximité de la frontière franco-suisse, est complétée, comme on sait, par une station transformatrice du type extérieur. Cette station a pour rôle d'établir la liaison entre l'usine proprement dite, les réseaux suisses et les réseaux français.

Les alternateurs de Verbois produisent leur énergie, destinée en premier lieu au réseau genevois, directement à la tension de 18 kV. La ligne Verbois—Romanel, qui appartient à la société EOS et qui relie Genève au reste de la Suisse, est exploitée à la tension de 125 kV. Quant à la ligne qui, par Bellegarde, établit la liaison entre la Suisse et les réseaux français, elle est exploitée à la tension de 150 kV.

Pour réaliser l'interconnexion entre ces trois réseaux, au moyen d'un poste de transformation, différentes solutions ont été envisagées; les études ont conduit à adopter le principe de 2 transformateurs à 3 enroulements séparés; les enroulements à 18 et à 125 kV sont munis chacun d'un régulateur à gradins; il est donc possible d'effectuer des échanges d'énergie dans les deux sens entre les trois réseaux jusqu'à concurrence de la puissance totale du transformateur, soit 25 000 kVA.

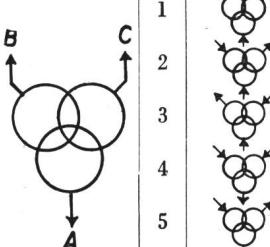
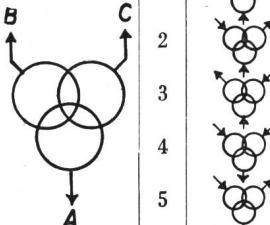
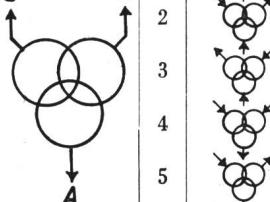
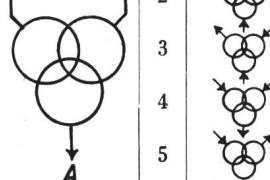
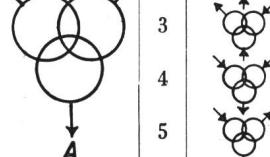
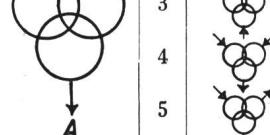
Cette disposition, très simple à première vue, a posé entr'autres un problème de comptage fort intéressant que nous allons examiner en détail.

Pour abréger l'écriture, désignons par A, B et C les trois entreprises intéressées, que nous appellerons les trois «partenaires»:

A représente l'usine de Verbois, tension 18 kV;  
B représente les réseaux français, tension 150 kV;  
C représente la société EOS, tension 125 kV.

Entre ces 3 partenaires, on peut imaginer 6 cas différents d'échanges d'énergie; nous les énumérons dans le tableau I.

Définitions des six régimes d'échange  
Tableau I.

	Cas	symbole	régime
	1		A fournit à B et C
	2		A et B fournissent à C
	3		A et C fournissent à B
	4		B et C fournissent à A
	5		B fournit à A et C
	6		C fournit à A et B

Il est clair que chacun des 3 partenaires doit connaître, non seulement la quantité totale d'énergie qu'il a fournie ou reçue, mais encore la part de ces fournitures qu'il doit attribuer à chacun de ses co-partenaires.

Prenons comme exemple le cas 1: «A fournit à B et à C»; si nous faisons, pour le moment, abstraction des pertes de transformation, nous constatons que, pour déterminer exactement les fournitures respectives de A à B et C, il suffit de placer un compteur dans chacun des circuits B et C; nous appellerons  $B_1$  et  $C_1$  ces deux compteurs (fig. 1a).

Supposons maintenant que  $B$ , disposant d'excédents d'énergie, se joigne à  $A$  pour fournir à  $C$ ; le compteur  $C_1$  précédemment placé enregistre alors la somme des énergies fournies par  $A$  et par  $B$ ; ses indications sont par conséquent inutilisables au point de vue facturation, le seul qui nous préoccupe actuellement étant l'enregistrement de l'énergie fournie par  $A$ .

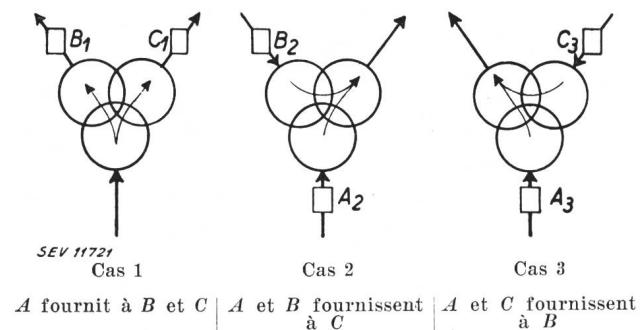


Fig. 1.

Dispositif de compteurs pour 3 régimes isolés

Il existe actuellement, et il faut arrêter son fonctionnement. En revanche, on obtiendra aisément les fournitures respectives de  $A$  et de  $B$  en intercalant les compteurs  $A_2$  et  $B_2$ ;  $B_1$  et  $C_1$  doivent rester à l'arrêt (fig. 1b).

Si, au contraire,  $A$  et  $C$  livrent simultanément à  $B$ , il faut intercaler les compteurs en  $A$  et  $C$ ; le compteur  $A_2$  mesurerait précédemment l'énergie fournie par  $A$  à  $C$ ; pour enregistrer maintenant l'énergie fournie par  $A$  à  $B$ , il faut avoir recours à un nouveau compteur  $A_3$ . Il est clair en outre que les compteurs  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $A_2$  et  $B_2$  précédemment intercalés pour les cas 1 et 2, doivent être maintenus à l'arrêt (fig. 1c).

On raisonnera de même dans les cas 4, 5 et 6, et l'on arrive finalement à la conclusion suivante:

*Pour mesurer exactement et séparément pour chaque partenaire l'énergie fournie à ou reçue de chacun des deux autres partenaires, il faut disposer sur chacun des 3 circuits 4 compteurs alternativement mis en service ou arrêtés, selon le régime d'échange.*

### Réalisation matérielle du dispositif de comptage

Il va de soi que la mise en ou hors service des différents compteurs, lors de chaque changement de régime d'échange, doit se faire automatiquement par un système approprié de relais.

Pour la réalisation pratique de ce dispositif, nous nous sommes adressés à la maison Landis & Gyr. Celle-ci présenta un projet comportant dans chaque circuit 2 compteurs à minuterie triple; chacun d'eux peut donc enregistrer, sur une minuterie distincte, l'énergie fournie — ou reçue — dans chacun des 3 cas de fourniture relatifs à chaque sens d'échange.

Ce dispositif, très ingénieux, conduisait cependant à l'enregistrement à double de certaines quantités d'énergie; or ces enregistrements à double ne peuvent pas coïncider en raison des pertes de trans-

formation et des écarts propres des compteurs; ils apporteraient par conséquent, en pratique, moins un élément de contrôle qu'un élément de doute et de complication.

Nous avons alors simplifié le dispositif en remplaçant les minuteries triples par des minuteries doubles; chaque compteur attribué à un sens d'énergie enregistre donc sur l'une ou sur l'autre minuteries dans 2 cas d'échange, et reste à l'arrêt dans le troisième cas où l'enregistrement est inutile.

Cet arrêt est provoqué par un relais de blocage commandé électriquement, tandis qu'un cliquet simple empêche la marche en arrière du compteur.

Dans le tableau II, nous donnons le plan d'enregistrement des 6 compteurs à minuterie double;

Schéma de fonctionnement des 6 compteurs d'énergie  
Tableau II.

Cas	1	2	3	4	5	6
$A$	blocage	<i>II</i>	<i>I</i>			
$A'$	■■■■■■	■■■■■■	■■■■■■	blocage	<i>I</i>	<i>II</i>
$B$	■■■■■■	<i>II</i>	■■■■■■	<i>I</i>	blocage	■■■■■■
$B'$	<i>I</i>	■■■■■■	blocage	■■■■■■	<i>I</i>	<i>II</i>
$C$	■■■■■■	■■■■■■	<i>II</i>	<i>I</i>	■■■■■■	blocage
$C'$	<i>I</i>	blocage	■■■■■■	■■■■■■	<i>II</i>	■■■■■■

(Les hachures indiquent que le compteur tend à tourner en arrière et est arrêté par son cliquet.)

$A$ ,  $B$  et  $C$  représentent les compteurs qui enregistrent l'énergie fournie par chacun des 3 réseaux au transformateur;  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  représentent les compteurs qui enregistrent l'énergie reçue du transformateur par chacun des 3 réseaux, les chiffres *I* et *II* représentent les 2 minuteries de chaque compteur.

On remarque que la mise en marche et l'arrêt de chaque compteur sont déterminés par le sens de l'énergie considéré au même instant dans chacun des 3 circuits. On les provoquera donc automatiquement au moyen de 3 relais wattmétriques de sens d'énergie, intercalés chacun dans un des circuits du transformateur; ces 3 relais sont connectés en série, en sorte que l'excitation des fils de commande des relais de blocage est effectivement déterminée par le régime des 3 réseaux considérés en un même instant.

La figure 2 représente le schéma de principe de commande des compteurs au moyen des 3 relais

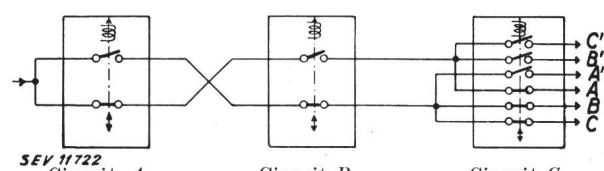


Fig. 2.  
Schéma de principe des 3 relais wattmétriques

wattmétriques; en réalité, il est complété par des relais intermédiaires alimentant les relais de blocage des compteurs d'énergie et ceux des compteurs de pertes dont nous allons parler.

## La mise en compte des pertes de transformation

Le dispositif décrit ci-dessus permet de déterminer tous les échanges d'énergie effectués entre deux quelconques des 3 réseaux; toutefois, comme nous l'avons déjà fait remarquer, il s'agit d'une mesure *brute*, qui ne tient pas compte des pertes de transformation.

Or, à l'époque où l'on décidait du principe et du schéma du poste de transformation de Verbois, des accords précisaien que les échanges d'énergie concernant EOS seraient mesurés aux bornes 125 kV du transformateur, tandis que les échanges entre Verbois et les réseaux français le seraient aux bornes 150 kV.

Il fallait donc corriger les mesures *brutes* fournies par les compteurs pour les transformer en mesures *nettes* relatives aux points de mesure spécifiés.

Reportons-nous au tableau I et considérons le cas n° 1, «*A fournit à B et à C*»; la mesure de l'énergie est effectuée aux bornes 150 kV dans le circuit *B* et aux bornes 125 kV dans le circuit *C*; elle correspond donc aux dispositions contractuelles et les indications fournies dans ce cas par les compteurs sont «nettes»; les pertes de transformation sont supportées par *A*.

Considérons maintenant le cas 2: «*A et B fournissent à C*; la mesure aux bornes de *C*, qui n'est plus possible, parce qu'elle porterait sur un mélange des énergies provenant de *A* et de *B*, est remplacée par deux mesures faites respectivement dans les circuits *A* et *B*; du résultat de ces mesures il faut donc défaucher les pertes de transformation, en les répartissant équitablement entre les deux fournisseurs.

Si l'on examine les 6 cas possibles de transit, on constate que dans 2 cas seulement, les cas 1 et 4, la mesure fournie par les compteurs donne les quantités nettes d'énergie en jeu. Dans les 4 autres cas, il faut non seulement déterminer les pertes de transformation, mais encore les répartir entre les deux partenaires intéressés.

On sait que les pertes de fonctionnement d'un transformateur se composent des pertes dans le noyau magnétique, dites «pertes fer», sensiblement indépendantes de la charge du transformateur, et des pertes dans le conducteur dites «pertes cuivre», approximativement proportionnelles au carré de l'intensité qui circule dans les enroulements.

Dans le cas d'un transformateur à deux enroulements, c'est-à-dire à une seule voie d'échange, le calcul des pertes est relativement facile; on obtient les pertes fer en multipliant la puissance de perte par la durée de mise sous tension; on détermine d'autre part les pertes cuivre en se basant sur la puissance moyenne de périodes de fonctionnement assez courtes pour que les variations de charge autour de la valeur moyenne considérée soient pratiquement négligeables.

Dans le cas qui nous occupe d'un transformateur à 3 voies d'échange, où les pertes cuivre dépendent

simultanément de 3 paramètres, un tel calcul deviendrait fastidieux. Il est tout indiqué de déterminer les pertes cuivre au moyen de compteurs «ampères-carrés-heures-mètres»; ces appareils sont des compteurs dont les deux enroulements sont insérés en série dans le circuit d'intensité du groupe de comptage; leur vitesse de rotation est donc proportionnelle au carré de l'intensité, et leur minuterie intègre une quantité constamment proportionnelle à ce carré. En dotant la minuterie d'une constante appropriée, on peut faire en sorte qu'elle indique un nombre de kWh égal aux pertes théoriques dans le cuivre. Nous relevons toutefois qu'il ne s'agit pas d'un véritable compteur de pertes, mais d'un intégrateur électrique enregistrant une puissance fictive complètement indépendante du circuit dans lequel est inséré l'appareil.

Revenons à notre problème; il est clair que les pertes cuivre de chacun des enroulements doivent être déterminées pour chaque régime séparément. On est donc conduit à adjoindre à chacun des six compteurs d'énergie un compteur de pertes, équipé avec minuterie double, relais de blocage et cliquet empêchant la marche en arrière, le tout asservi aux relais wattmétriques.

En réalité cependant, le dispositif de mesure des pertes cuivre fonctionne d'une manière légèrement différente de celle des compteurs d'énergie.

Les dispositions contractuelles relatives au point de mesure de l'énergie ne sont en effet pas symétriques; il en résulte que les pertes doivent être elles aussi réparties d'une façon non symétrique.

Nous avons vu, par exemple, que dans le cas 1, il n'est pas nécessaire d'enregistrer les pertes, la mesure se faisant aux bornes de sortie du transformateur.

Dans le cas 2, en revanche, il faut enregistrer les pertes dans les 3 enroulements simultanément, bien que 2 compteurs d'énergie seulement soient alors en fonction.

Dans le cas 3, «*A et C fournissent à B*», il suffit de déterminer les pertes dans les enroulements *A* et *B*, puisque la fourniture de *C* est mesurée précisément aux bornes 125 kV.

En examinant ainsi les 6 cas possibles de fourniture, on constate que dans les cas 1 et 4, la mesure des pertes est inutile; dans les cas 3 et 5, la mesure doit être effectuée dans les circuits *A* et *B*; dans les cas 2 et 6, la mesure doit être effectuée dans les 3 circuits *A*, *B* et *C*.

La mise en ou hors service des 6 compteurs de pertes sera naturellement déterminée par les relais wattmétriques.

Si nous désignons par *a*, *b* et *c* les compteurs enregistrant les pertes correspondant à la fourniture de chaque circuit au transformateur, par *a'*, *b'*, *c'* les compteurs enregistrant ces mêmes pertes en sens inverse, et par *I* et *II* les deux minuteries des différents compteurs, nous pouvons établir le tableau synoptique suivant:

Schéma de fonctionnement des 6 compteurs d'énergie et des 6 compteurs de pertes

Tableau III

circ.	cas 1	cas 2	cas 3	cas 4	cas 5	cas 6
18 kV		<i>A II</i>	<i>A I</i>		<i>A' I</i>	<i>A' II</i>
		<i>a II</i>	<i>a I</i>		<i>a' I</i>	<i>a' II</i>
150 kV	<i>B' I</i>	<i>B II</i>		<i>B I</i>		<i>B' II</i>
		<i>b II</i>	<i>b' II</i>		<i>b I</i>	<i>b' II</i>
125 kV	<i>C' I</i>		<i>C II</i>	<i>C I</i>	<i>C' II</i>	<i>c</i>
		<i>c'</i>				

### Schéma complet de mesure

Les 6 compteurs d'énergie et les 6 compteurs de pertes décrits jusqu'ici donnent tous les éléments nécessaires à l'établissement des factures d'énergie, à l'exception des pertes fer obtenues par simple calcul. Un deuxième groupe de 12 compteurs est disposé de manière identique sur les circuits du deuxième transformateur de la station. Il est donc possible d'établir les décomptes par transformateur, même si les cas de régime d'échange ne sont pas identiques pour les deux unités; le problème de l'enregistrement se trouve ainsi complètement résolu.

L'étude terminée, il apparut toutefois nécessaire de déterminer, au moyen d'un dispositif de maximum, la puissance mise en jeu lors des fournitures de Genève à EOS, c'est-à-dire de *A* à *C*.

Si l'on fait abstraction de la perte de transformation (ce qui est légitime, puisqu'elle est du même ordre de grandeur que l'erreur propre du dispositif de maximum), la solution est simple:

La fourniture de *A* à *C* se produit dans les seuls cas 1 et 2. On insère donc dans le circuit de mesure 125 kV un troisième compteur d'énergie *C''*, branché dans le sens réception; un relais de blocage ne lui permet de fonctionner que dans le cas 1 (*A* fournit à *B* et *C*), c'est-à-dire en même temps que la minuterie *I* du compteur *C'* (voir tableau II).

De même, un compteur d'énergie *A''* est inséré dans le circuit 18 kV, dans le sens livraison; un relais de blocage ne lui permet de fonctionner qu'en même temps que la minuterie *II* du compteur *A*, c'est-à-dire dans le cas 2 exclusivement.

Ces deux compteurs *A''* et *C''* sont munis de contacts d'émission qui envoient des impulsions en nombre proportionnel à la vitesse des disques, dans un dispositif totalisateur complété par un indicateur de maximum. Cet appareil reçoit les impulsions analogues provenant des compteurs *A''* et *C''* du deuxième transformateur.

Le totalisateur indique donc la puissance mise en jeu dans les seules fournitures de *A* à *C*, mesurées tantôt à 18 kV, tantôt à 125 kV, selon le régime d'échange. Il y a lieu de remarquer que 2 des 4 relais récepteurs seulement peuvent fonctionner simultanément.

Enfin, pour les besoins de la statistique interne de l'usine, destinée à établir le bilan d'énergie aux rails 18 kV, on a disposé dans les circuits *A* de chaque transformateur deux compteurs dits de sta-

tistique. Ils enregistrent toute l'énergie reçue, respectivement fournie par les transformateurs. Les indications de ces compteurs n'ont aucune relation avec celles des compteurs de tarification décrits plus haut. La figure 3 donne le schéma de principe complet de l'un des transformateurs.

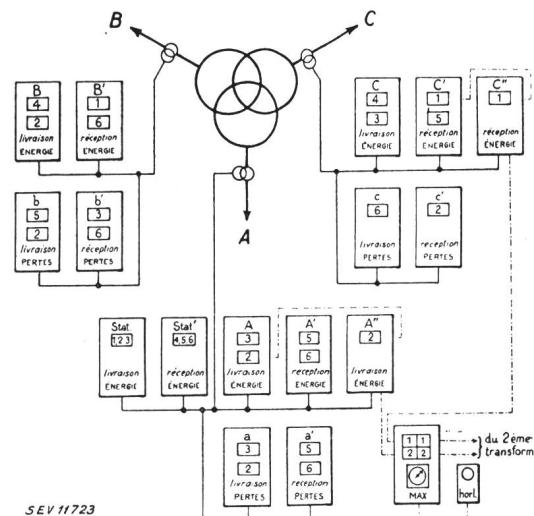


Fig. 3.

Schéma de principe complet de l'un des transformateurs  
Les chiffres inscrits dans les cadrans indiquent les régimes pour lesquels ces cadrans enregistrent la quantité d'énergie fournie ou reçue par le circuit correspondant.

### Répartition des pertes

Les pertes sont maintenant déterminées dans chaque enroulement; on peut les établir pour chacun des régimes d'échange et pour n'importe quelle durée de fonctionnement. Il s'agit dès lors de les faire intervenir dans le calcul des valeurs nettes des différentes fournitures.

Considérons à nouveau le cas 2: «*A* et *B* fournissent à *C*».

*A* supporte évidemment les pertes dans l'enroulement 18 kV; *B* supporte de même les pertes dans l'enroulement 150 kV. En revanche, d'après les dispositions contractuelles, les pertes dans l'enroulement 125 kV ne sont pas à la charge de *C*<sup>1</sup>); elles doivent être réparties entre *A* et *B*, en tenant compte de l'importance de leurs fournitures respectives.

Cette répartition peut être basée sur plusieurs principes; nous allons examiner les 3 principaux.

#### 1<sup>o</sup> Répartition basée sur le carré des puissances partielles

Si l'on se place à un point de vue purement théorique, on peut, en considérant que les pertes ohmiques croissent comme le carré de l'intensité, décider qu'on répartira à chaque instant ces pertes entre les 2 partenaires, proportionnellement aux carrés des puissances partielles mises en jeu par l'un et par l'autre.

<sup>1)</sup> Remarquons en passant que l'on pourrait parfaitement convenir d'attribuer à chaque partenaire les pertes relatives à son enroulement; une telle clause simplifierait considérablement les décomptes.

Appelons  $P_A$  et  $P_B$  ces puissances partielles;  $c_A$  la part des pertes  $c$  attribuées à  $A$ , et  $c_B$  la part de ces mêmes pertes attribuées à  $B$ :

$$c_A + c_B = c \quad (1)$$

Si l'on considère une période de fonctionnement finie, telle que 24 heures, pendant laquelle les charges varient indépendamment l'une de l'autre, on peut écrire de la façon suivante la convention énoncée ci-dessus:

$$\left. \begin{aligned} c_A &= c \frac{\int P_A^2 dt}{\int P_A^2 dt + \int P_B^2 dt} \\ c_B &= c \frac{\int P_B^2 dt}{\int P_A^2 dt + \int P_B^2 dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Les équations (2) satisfont d'ailleurs la condition (1).

La valeur de chacune des deux intégrales ne résulte pas immédiatement des lectures des compteurs; on peut cependant en fournir une valeur approchée au moyen des compteurs de pertes eux-mêmes.

Ecrivons en effet:

$$P_A = \sqrt{3} U_A I_A$$

d'où

$$P_A^2 dt = 3 U_A^2 I_A^2 dt$$

$U_A$  peut être considéré comme pratiquement constant;

on a donc  $P_A^2 dt = 3 U_A^2 I_A^2 dt$

Mais nous avons d'autre part, en appelant  $a$  les pertes cuivre dans l'enroulement 18 kV et en désignant par  $R_A$  la résistance ohmique du circuit 18 kV:

$$a = \int I_A^2 R_A dt$$

Nous en tirons:

$$\int I_A^2 dt = \frac{a}{R_A}$$

et par conséquent

$$\left. \begin{aligned} \int P_A^2 dt &= 3 U_A^2 \frac{a}{R_A} \\ \text{de même } \int P_B^2 dt &= 3 U_B^2 \frac{b}{R_B} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Il est donc possible de calculer la valeur des fonctions (2) pour une période de fonctionnement quelconque, au moyen des seuls relevés de compteurs, en utilisant les formules (3).

## 2<sup>e</sup> Répartition basée sur les valeurs simples des puissances partielles

On simplifie sensiblement le problème en convenant de répartir les pertes proportionnellement aux valeurs simples des puissances partielles, c'est-à-dire en posant

$$c_A = c \frac{P_A}{P_A + P_B} \quad (4)$$

$$c_B = c \frac{P_B}{P_A + P_B}$$

On peut alors remplacer les valeurs des puissances par leurs intégrales dans un intervalle de temps donné, ce qui conduit aux 2 formules suivantes:

$$\left. \begin{aligned} c_A &= c \frac{\int P_A dt}{\int P_A dt + \int P_B dt} \approx c \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A} + \mathfrak{B}} \\ c_B &= c \frac{\int P_B dt}{\int P_A dt + \int P_B dt} \approx c \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{A} + \mathfrak{B}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

en appelant  $\mathfrak{A}$  et  $\mathfrak{B}$  les quantités d'énergie transmises par les partenaires  $A$  et  $B$  dans la période envisagée.

Le calcul théorique montre que les égalités ci-dessus sont mathématiquement exactes lorsque certaines conditions sont remplies; c'est le cas en particulier lorsque la charge totale du transformateur est constante ( $P_A + P_B = \text{constante}$ ), ou lorsque les charges partielles restent dans un rapport constant ( $\frac{P_A}{P_B} = \text{constante}$ ).

Dans les autres cas, l'erreur est inférieure aux inexactitudes des appareils de mesure eux-mêmes, et peut être par conséquent négligée.

Ce mode de répartition des pertes est analogue au principe qui consiste à calculer les frais de transport de différents colis proportionnellement aux poids et aux longueurs de parcours de chacun d'eux, sans tenir compte des variations de vitesse de transport.

## 3<sup>e</sup> Répartition proportionnelle aux carrés des énergies

La méthode précédente a consisté à remplacer le rapport continuallement variable des puissances instantanées partielles, par le rapport des énergies considérées pendant une période déterminée, jour, semaine ou mois.

On peut aussi, par analogie, remplacer le rapport du carré des puissances instantanées partielles par le rapport du carré des énergies mises en jeu, conformément aux formules ci-dessous:

$$\left. \begin{aligned} c_A &= c \frac{\mathfrak{A}^2}{\mathfrak{A}^2 + \mathfrak{B}^2} \\ c_B &= c \frac{\mathfrak{B}^2}{\mathfrak{A}^2 + \mathfrak{B}^2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

L'examen de cette méthode montre qu'elle conduit à des résultats à peine différents de ceux de la deuxième méthode.

Si l'on considère en effet une fourniture faite par  $A$  et  $C$  à  $B$ , de façon telle que la charge passe progressivement de  $A$  à  $C$ , le total des puissances

partielles étant constamment égal à la puissance nominale du transformateur, on constate que l'écart entre les 2 méthodes de répartition des pertes entre *A* et *B* ne dépasse, pour aucun régime, le 6 % de l'énergie mise en jeu.

Cet écart est du même ordre de grandeur que les erreurs de fonctionnement des compteurs; on peut dès lors conclure que les complications matérielles du calcul nécessitées par la troisième méthode ne se justifient en général pas.

#### Répartition des pertes dans le fer

Le calcul de ces pertes est facile, puisqu'on peut les considérer pratiquement comme indépendantes de la charge du transformateur.

Pour les répartir entre les partenaires intéressés, on pourra recourir à plusieurs méthodes. La plus simple consiste à diviser les pertes fer totales en kWh calculées pour une période déterminée (par exemple pour un mois), par le nombre total de kWh transités, de façon à obtenir une perte moyenne par unité. On calculera ensuite, par simple proportion, la perte relative à chacune des fournitures partielles; on tiendra toutefois compte du fait que certains enregistrements (cas 2, 3, 5 et 6) doivent être précisément corrigés des pertes, tandis que les autres (cas 1, 3, 4 et 5) donnent des résultats nets, pertes déjà déduites.

On pourrait aussi répartir les pertes fer entre les 2 partenaires intéressés, au prorata du nombre d'heures relatif à chaque régime de marche.

Ce sont là des modalités de calcul, et il appartient évidemment aux entreprises intéressées de convenir entr'elles de la méthode qu'elles entendent employer.

#### Calcul des fournitures nettes

Prenons comme exemple le cas n° 2: «*A* et *B* fournissent à *C*». Conformément aux arrangements auxquels il a été fait allusion plus haut, *A* et *B* supportent les pertes de transmission. Nous convenons en outre que les pertes cuivre dans l'enroulement utilisé simultanément par les 2 partenaires, soient réparties au prorata des énergies en jeu, de même que les pertes fer.

Le partenaire *A* supporte donc les pertes *a*, une part des pertes *c* et une part des pertes fer *F*, dont la valeur vient en déduction de sa fourniture mesurée à 18 kV.

Il en est de même pour *B*. On peut alors écrire, en se reportant au tableau III:

fourniture *A* à *C* =

$$\mathfrak{A}II - aII - c' \frac{\mathfrak{A}II}{\mathfrak{A}II + \mathfrak{B}II} - f \cdot \mathfrak{A}II$$

fourniture *B* à *C* =

$$\mathfrak{B}II - bII - c' \frac{\mathfrak{B}II}{\mathfrak{A}II + \mathfrak{B}II} - f \cdot \mathfrak{B}II$$

avec

$$f = \frac{F}{\text{total kWh transités}}$$

Dans le cas inverse n° 6, nous aurons de même fourniture de *C* à *A* =

$$\mathfrak{A}'II + a'II + c' \frac{\mathfrak{A}'II}{\mathfrak{A}'II + \mathfrak{B}'II} + f \cdot \mathfrak{A}'II$$

fourniture de *C* à *B* =

$$\mathfrak{B}'II + b'II + c' \frac{\mathfrak{B}'II}{\mathfrak{A}'II + \mathfrak{B}'II} + f \cdot \mathfrak{B}'II$$

On peut établir de même les formules de fourniture pour chacun des 6 régimes; on groupe ensuite deux par deux les fournitures relatives à un même groupe de partenaires; on obtient ainsi un tableau récapitulatif (tableau IV).

Tableau de calcul et de répartition des fournitures nettes

Tableau IV

Contrat	Cas No.	Fourniture brute	Fourniture nette
<i>A</i> fournit à <i>C</i>	1	<i>C' I</i>	<i>C' I + A II</i>
	2*	<i>A II</i> +	$-(aII + c' \frac{AII}{AII + BII} + f \cdot AII)$
<i>C</i> fournit à <i>A</i>	4	<i>C I</i>	<i>C I + A' II</i>
	6*	<i>A' II</i> +	$+(a'II + c' \frac{A'II}{A'II + B'II} + f \cdot A'II)$
<i>B</i> fournit à <i>C</i>	2*	<i>B II</i>	<i>B II + C' II</i>
	5	<i>C' II</i> +	$-(bII + c' \frac{BII}{AII + BII} + f \cdot BII)$
<i>C</i> fournit à <i>B</i>	3	<i>C II</i>	<i>C II + B' II</i>
	6*	<i>B' II</i> +	$+(b'II + c' \frac{B'II}{A'II + B'II} + f \cdot B'II)$
<i>A</i> fournit à <i>B</i>	1	<i>B' I</i>	<i>B' I + A I</i>
	3*	<i>A I</i> +	$-(aI + b'I \frac{AI}{AI + CII} + f \cdot AI)$
<i>B</i> fournit à <i>A</i>	4	<i>B I</i>	<i>B I + A' I</i>
	5*	<i>A' I</i> +	$+(a'I + bI \frac{A'I}{A'I + CII} + f \cdot A'I)$
Mouvement total .....			
Mouvement des kWh* soumis à pertes .....			
Pertes Fer totales: <i>F</i> ... kWh, soit <i>f</i> = ... kWh/kWh			

#### Cas où l'un des trois partenaires n'est pas en service

Il reste à examiner ce qui se passe lorsqu'un des 3 réseaux ne participe pas aux échanges.

Le dispositif de comptage exige alors que les circuits de tension des 3 groupes d'appareils soient en service; cette condition est aisément — et normalement — réalisée, du fait que les transformateurs de tension sont situés entre le transformateur de 25 000 kVA et les disjoncteurs placés sur chacun des trois circuits.

Le cas d'un échange unique, entre *A* et *C*, par exemple, peut alors résulter de l'évolution de 2 cas généraux: ce peut être la limite du cas 1: «*A* fournit à *B* et *C*», lorsque la fourniture de *A* à *B* tend vers zéro; ce peut être aussi la limite du cas 2:

«A et B fournissent à C», lorsque la fourniture de B à C tend vers zéro. Dans les deux cas limite, l'enregistrement est naturellement encore exact; il se réalisera sur la minuterie C'I (cas 1) ou sur les minuteries A II et a II (cas 2) selon les régimes de charge existant auparavant.

C'est d'ailleurs là que réside une petite difficulté d'exécution des relais: le régime de repos d'un des partenaires ne doit pas avoir pour conséquence que les relais wattmétriques restent dans une position instable; pour éviter cette instabilité, ils sont munis d'un dispositif spécial imaginé par le Service de l'électricité lui-même, qui supprime pratiquement le «pompage» et donne à chaque relais wattétrique une position bien déterminée et stable lorsque l'un quelconque des 3 partenaires reste passif.

#### Mise en service

Le dispositif de comptage décrit ci-dessus a été mis en service en septembre 1943, tout au moins

pour le premier des deux transformateurs de la station extérieure; le second de ceux-ci ne sera installé qu'au printemps 1944. Les enregistrements d'énergie effectués au cours des premiers mois d'exploitation n'ont donné lieu à aucune difficulté; les indications fournies par les compteurs de tarification cadrent très bien avec celles fournies par les compteurs d'exploitation; la coïncidence est même très satisfaisante, si l'on songe que le transformateur de 25 000 kVA est loin de travailler au voisinage de sa charge nominale, ce qui oblige le dispositif de comptage à fonctionner dans des conditions relativement défavorables.

Enfin, des tableaux de calcul appropriés ont été établis, de façon que le calcul en apparence compliqué des fournitures nettes soit ramené à quelques opérations arithmétiques très simples, effectuées sur une formule imprimée portant déjà toutes les indications de minuteries et de coefficients de pertes.

## La nouvelle station de couplage et de distribution „Usine thermique“ du Service de l'Electricité de Genève

Par P. F. Rollard, Genève

621.316.267

*La nouvelle usine de Verbois est actuellement reliée par 7 câbles au réseau 18 kV du Service de l'électricité de Genève. Ces câbles, dont le nombre sera ultérieurement porté à 10 et dont une partie est posée sur la rive gauche du Rhône et l'autre sur la rive droite, sont conduits à l'usine thermique. Ces lignes de transport, prévues actuellement pour 45 000 kVA, ont nécessité une modernisation des installations de couplage à 18 kV de l'usine thermique, équipée de 2 groupes turbo-alternateurs et de 2 alternateurs entraînés par moteur Diesel fournissant du courant biphasé à 3000 V. La liaison entre les barres à 3 kV du système biphasé et celles à 18 kV de l'installation triphasée s'opère par des transformateurs en montage Scott. M. Rollard décrit les disjoncteurs et autres appareils utilisés, en insistant notamment sur le choix des disjoncteurs à 18 kV à air comprimé, des sectionneurs commandés par air comprimé et des transformateurs de mesure sans huile. Il donne également des renseignements sur l'installation d'air comprimé, les batteries d'accumulateurs, l'éclairage et le chauffage.*

*Die Verbindung zwischen dem neuen Kraftwerk Verbois und dem 18-kV-Netz des Elektrizitätswerkes der Stadt Genf wird heute durch 7, später durch 10 Kabel hergestellt, die teils auf dem linken, teils auf dem rechten Rhoneufer verlegt sind und nach dem thermischen Kraftwerk des EW Genf führen. Die Uebertragungsleistung, die heute 45 000 kVA beträgt, erforderte einen modernen Ausbau der 18-kV-Schaltanlagen im thermischen Kraftwerk, das 2 Turbogruppen und 2 Dieselgeneratoren enthält, die Zweiphasenstrom von 3000 V liefern. Die Verbindung zwischen den 3-kV-Sammelschienen des Zweiphasensystems und den 18-kV-Sammelschienen der Drehstrom-Anlage geschieht über Transformatoren in Scott-Schaltung. Es werden die verwendeten Schalter und Apparate beschrieben. Bemerkenswert ist die Wahl von 18-kV-Druckluft-Schnellschaltern, von Trennern mit Druckluftantrieb und von Messwandlern ohne Oel. Weiter werden Angaben über die Druckluft-Verteilanlagen, die Akkumulatorenbatterien sowie Beleuchtung und Heizung gemacht.*

#### 1<sup>o</sup> Introduction

La création de la centrale de Verbois, de même que la suppression de l'usine de Chèvres qui en fut une des conséquences, ont conduit le Service de l'électricité de Genève à modifier sensiblement la structure de son réseau primaire triphasé de transport et de distribution.

Les alternateurs de Verbois ont été établis pour fournir directement leur énergie à ce réseau dont la tension est de 18 000 V entre phases. Cette solution, qui a l'avantage d'éviter une double transformation au départ de la centrale et au principal centre de consommation du réseau soit la ville de Genève, a pu être retenue grâce à la faible distance, environ 11 km, séparant ces deux points.

Toute l'énergie destinée aux abonnés du Service de l'électricité de Genève est conduite au moyen de sept, plus tard dix câbles, à la nouvelle station de couplage et de distribution «Usine thermique». Ces câbles, du type Hochstaedter, composés de trois

conducteurs de 150 mm<sup>2</sup> cuivre, peuvent transporter chacun une puissance de 7500 kVA soit actuellement un total de 45 000 kVA, en admettant une certaine réserve. Ils sont divisés en deux groupes dont l'un emprunte un tracé dessiné sur des routes de la rive gauche, l'autre de la rive droite du Rhône. Des postes de sectionnement construits sur leur parcours permettent d'en isoler des tronçons pour faciliter les recherches de défauts éventuels, qu'il serait difficile de localiser avec précision sur une longueur de 11 km. Certaines parties de ces câbles, posés à proximité de voies de tramways, pouvant être soumises à des corrosions dues aux courants vagabonds, des chambres souterraines de mesure ont été prévues à l'emplacement de divers manchons. Elles permettront de contrôler en tout temps l'importance de ces courants et de prévenir ainsi l'amorce de défauts.

Le poste de couplage «Usine thermique» tire son nom du fait qu'il a été établi à proximité