Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 5

Artikel: Les calorifères à combustion lente et les inextinguibles
Autor: Pelet, L.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-23481

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: 20.02.2026

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

29me Année. 10 mars 1903. N° 5.

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef: M. P. HOFFET, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

SOMMAIRE : *Les calorifères à combustion lente et les inextinguibles,* par M. L. Pelet, professeur, à Lausanne. — *Installations électriques de la Commune de Lausanne* (suite et fin), par M. A. de Montmollin, chef du Service de l'Electricité. — **Divers :** Excursion technique de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne. II. Usines de la Société de Roll (suite), par un groupe d'élèves. — Tunnel du Simplon: Etat des travaux au mois de février 1903. — Section de Genève de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. (G. e P.) — Société vaudoise des Ingénieurs et Architectes. 7me séance ordinaire du 7 mars 1903. — Concours pour un bâtiment d'archives, à Neuchâtel. — Bibliographie: Notes et croquis techniques sur Genève.

Les calorifères à combustion lente et les inextinguibles.

Dans la présente étude nous essaierons, après avoir défini ce que l'on entend par calorifères *à combustion lente* et *inextinguibles,* de donner les normes d'appréciation de ces appareils, puis nous indiquerons les résultats de l'examen de quelques-uns de ces appareils.

Il est, en effet, nécessaire de définir ce qu'est un calorifère à combustion lente et un inextinguible, et de les différencier des autres appareils de chauffage, cela est d'autant plus indiqué qu'il existe une grande confusion à leur sujet ; en cherchant à les définir nous serons surtout guidés par le fait que la loi sur la police des constructions du canton de Vaud interdit leur emploi dans les chambres à coucher.

L'inextinguible complet est un appareil comprenant une trémie de chargement dont la partie inférieure débouche à 25 cm. au-dessus d'une grille de forme variable, cette trémie ne doit pas être traversée par les produits de la combustion pour éviter la distillation du combustible. La réserve de combustible contenue dans la trémie doit se maintenir froide jusqu'au moment où elle débouche dans le foyer.

Les parties du foyer directement au contact du combustible incandescent doivent être construites en matériel suffisamment réfractaire pour qu'elles puissent supporter la haute température du foyer.

La grille, ou du moins l'une de ses parties, doit être facilement mobile, de façon à pouvoir débarrasser facilement les cendres.

Dans un appareil ainsi construit, on localise la combustion en un point déterminé et l'on évite l'inflammation d'une quantité trop considérable de combustible, ce qui aurait pour inconvénient de produire la fusion des cendres et la transformation de ces dernières en scories, dont il serait difficile de débarrasser la grille.

Les inextinguibles peuvent, en outre, être construits de façon à ce que les gaz de la combustion se dirigent directement du foyer dans la cheminée ou bien traversent l'une ou l'autre des parties de l'appareil, afin de se refroidir partiellement avant d'atteindre le canal d'évacuation.

L'enveloppe extérieure des divers types d'inextinguibles peut d'ailleurs varier dans sa construction, sa forme et sa grandeur.

Ces appareils, lorsqu'ils sont bien construits, peuvent fonctionner sans interruption pendant plusieurs semaines.

A côté des calorifères que nous venons de décrire, on rencontre dans le commerce une foule d'appareils moins complets, partant moins parfaits, qui ne sont pas des inextinguibles au sens propre du mot, mais qui peuvent fonctionner comme tels et que l'on désigne sous le nom de calorifères à combustion lente.

Ces appareils peuvent admettre comme les précédents une réserve de combustible telle que la combustion peut se maintenir au moins plusieurs heures (4-8) sans qu'on soit obligé de les charger à nouveau.

Les calorifères à combustion lente sont formés d'un cylindre creux en matériel réfractaire, à la partie inférieure duquel se trouve une grille plus ou moins parfaite. Ces appareils peuvent recevoir une quantité de combustible assez considérable remplissant complètement la cuve depuis la grille jusqu'à la porte de chargement.

Les gaz de la combustion traversent la masse entière du combustible, cette dernière distille partiellement et peut être entièrement portée à l'incandescence. Il en résulte une température souvent trop élevée et les cendres pourront facilement fondre et se transformer en scories dont il sera souvent difficile de débarrasser la grille.

Il est nécessaire de distinguer les calorifères à combustion lente et les inextinguibles des poêles ordinaires puisque ces derniers seuls pourront être admis dans une chambre à coucher.

L'emploi du bois ou d'un combustible minéral ne saurait servir de base dans cette distinction, pas plus que l'emploi d'un régulateur à vis pour permettre l'admission de l'air nécessaire à la combustion, car il est de nombreux types de poêles qui peuvent, sans danger aucun, brûler du combustible minéral, et d'autres possèdent un régulateur à vis sans que pour cela ils puissent être confondus avec les inextinguibles.

La seule différence est, à notre avis, la durée de la combustion sans renouvellement de la charge.

Dans les calorifères à feu continu et dans les inextinguibles la charge dépasse 2 kg. de combustible minéral (anthracite, coke ou petite houille), la couche de combustible incandescent ou froid dépasse 25 cm.

Dans ces appareils, il faut nécessairement qu'il y ait une porte de chargement située à 25 ou à plus de 25 cm. au-dessus de la grille.

Au contraire, les fourneaux ordinaires ne possédant qu'une porte de chargement au niveau de la grille et une porte au-dessous de la grille (pour le cendrier), ne pourront jamais fonctionner comme inextinguibles.

En effet, on ne peut y introduire à la fois qu'une quantité limitée de combustible (2 à 3 pelletées au maximum) c'est-à-dire 2-3 kg., et la couche totale de combustible sera toujours inférieure à 20 cm. de hauteur verticale; dans tous ces appareils la charge de combustible minéral sera complètement brûlée en trois ou quatre heures.

Il en résulte que tout appareil servant au chauffage des appartements et ayant une seule porte de chargement à niveau ou à moins de 25 cm. au-dessus de la grille sera considéré comme un poêle et peut être admis dans une chambre à coucher.

Au contraire, tout calorifère possédant une porte de chargement placée à plus de 25 cm. au-dessus de la grille doit être considéré comme un appareil à combustion lente inextinguible ou non.

Examinons maintenant quelles sont les normes permettant d'apprécier la valeur d'un chauffage quelconque (foyer ou calorifère).

a) L'analyse des gaz des fumées est un des critères nécessaires de cette estimation ; elle donne de précieux renseignements sur la bonne marche d'un appareil, au même titre que l'analyse de l'urine permet de se rendre compte de l'état de santé de l'individu.

L'analyse des gaz des fumées donne la teneur en anhydride carbonique, oxygène, oxyde de carbone, azote et autres gaz contenus dans les fumées.

En volume, le gaz le plus important est l'azote qui forme environ les $^4/_5$ des fumées.

Les 20,8 % d'oxygène de l'air atmosphérique devraient théoriquement être intégralement transformés en anhydride carbonique. En fait cela est impossible et, si la combustion était poussée si loin que tout l'oxygène de l'air soit brûlé, il y aurait toujours formation d'une proportion plus ou moins considérable d'oxyde de carbone.

En réalité, il est excessivement rare que tout l'oxygène disparaisse complètement, il en reste toujours une proportion considérable. Au point de vue de la combustion, les deux gaz qui ont le plus d'importance sont donc l'anhydride carbonique et l'oxygène résiduel non brûlé. Nous reviendrons d'ailleurs sur ce point lorsque nous aurons discuté la formation des autres produits de la combustion.

Chacun sait que dans la combustion d'un combustible minéral il peut se produire de l'oxyde de carbone. Comment se forme-t-il ? C'est ce que nous sommes loin de savoir d'une façon précise. L'état actuel de nos connaissances sur ce point devrait nous engager à nous abstenir de discuter la formation de l'oxyde de carbone, mais le public se fait en général des idées si fausses que nous pensons qu'il est cependant utile d'examiner les conditions probables de la formation de ce corps si dangereux.

Tout d'abord, il est impossible qu'il ne se forme que de l'oxyde de carbone, il est toujours accompagné d'une proportion beaucoup plus considérable d'anhydride carbonique, il est de plus excessivement rare que la proportion d'oxyde de carbone dépasse 4 % du volume total des fumées. Cette quantité est évidemment suffisante pour produire des effets toxiques, puisqu'il en suffit d'une dose très faible ($^1/_{1000}$) pour produire des empoisonnements graves.

L'oxyde de carbone peut se former par deux réactions; l'une par réduction de l'anhydride carbonique passant sur du charbon rouge, d'après l'équation :

$$CO^2 + C = 2\,CO,$$

l'autre par union directe d'un atome de carbone à un atome d'oxygène :

$$C + O = CO.$$

Dans le premier cas, on sait, en effet, que lorsque l'anhydride carbonique passe sur du charbon incandescent il se réduit et la réduction est d'autant plus prononcée que la température de la réaction est plus élevée.

D'après Naumann, la proportion d'oxyde de carbone formé en faisant passer un courant d'anhydride carbonique et d'oxygène sur du charbon, est d'autant plus considérable que la température est plus élevée.

Nous devons remarquer que dans la plupart des cas l'oxyde de carbone qui se dégage du foyer peut brûler complètement, lorsqu'il y a assez d'oxygène qui rentre dans le foyer; cette réaction s'exprime par l'équation :

$$CO + O = CO^2.$$

Quand l'oxyde de carbone peut-il donc se rencontrer dans les appareils inextinguibles ?

Dans les appareils bien conditionnés, c'est-à-dire dans tout inextinguible complet dans lequel la couche de combustible incandescent ne dépasse pas 25 cm., il n'y en a que de faibles quantités, 1 % environ, ce sont justement les appareils possédant une trémie de chargement.

Au contraire, dans tout appareil où la charge de combustible traversée par les gaz chauds peut s'enflammer entièrement, il se formera de l'oxyde de carbone toutes les fois que la couche de combustible sera supérieure à 25 cm.

A ce sujet, nous citons l'exemple suivant : Un calorifère à feu continu pouvant admettre en pleine charge une couche de combustible de 40 cm.; la masse de com-

bustible était complétement allumée au moment où nous avons commencé les analyses. De demi-heure en demi-heure, nous procédions à une analyse, pendant ce temps, le combustible se consumait et la charge verticale au-dessus de la grille diminuait constamment :

Couche verticale de combustible.	Anhydride carbonique.	Oxyde de carbone.	Oxygène.
40 cm.	16,2	3,6	0,6
30 »	17,3	1,1	0,5
20 »	12,6	0,0	7,6
10 »	10,4	0,0	10,4

Ces résultats confirment que lorsque la couche de combustible est inférieure à 25 cm. il ne se forme pas d'oxyde de carbone.

Ainsi que nous l'avons dit, l'oxyde de carbone se forme aussi par union directe du carbone à l'oxygène. Bien que nous ne soyons pas fixés sur ce mode de production, nous croyons cependant qu'il peut s'en former surtout lorsque la combustion est très ralentie, et s'il s'en forme ce ne sont que des quantités très petites ne dépassant pas 1 %.

Nous n'avons malheureusement que très peu de faits précis qui puissent nous renseigner sur ce point encore obscur, et nous ajouterons aussi que si nous sommes loin d'être fixés sur le mode de production de l'oxyde de carbone, nous sommes aussi très loin d'être au clair sur la façon de reconnaître et de doser ce gaz.

Sans vouloir faire de paradoxe, nous dirons que pour ce qui nous concerne, l'odorat est le meilleur moyen de constater la présence de ce gaz inodore, sa production étant en effet toujours accompagnée de petites quantités de gaz odorants.

Dans les calorifères on brûle surtout de l'anthracite ou du coke, combustibles ne contenant pas ou très peu d'hydrogène, il en résulte que nous considérons la formation d'eau comme absolument négligeable, aussi la laisserons-nous de côté. Il en est de même de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré ou de l'anhydride sulfureux qui peuvent être contenus en très petites quantités dans les fumées.

Les autres moyens de se rendre compte du bon fonctionnement d'un foyer sont :

b) La détermination de la température des fumées à leur entrée dans la cheminée ;

c) Le calcul du volume des fumées par kg. de combustible ;

d) Le calcul de la perte de chaleur par la cheminée ;

e) La détermination de la vitesse du courant gazeux dans la cheminée (tirage).

En ce qui concerne la température des fumées, nous pouvons admettre qu'une température à l'entrée de la cheminée variant entre 60 et 120° est complètement suffisante pour assurer le tirage de la cheminée; au-dessous de 60°, on court le risque de ne pas assurer le tirage de la cheminée, au-dessus de 120°, la plus grande partie de la chaleur est perdue inutilement.

La détermination de la vitesse du courant gazeux permet de se rendre compte du fonctionnement de la cheminée, mais ne donne que des renseignements très restreints sur la marche du calorifère.

Le volume des fumées et la perte de chaleur se calculent au moyen des formules connues, mais ces calculs sont longs et ne conviennent qu'à un moment donné de la marche de l'inextinguible. Ces calculs peuvent être certainement utiles dans une étude complète, mais dans l'usage courant nous proposons d'apprécier le fonctionnement d'un foyer quelconque par une relation plus simple, en établissant le rapport de l'oxygène non brûlé à la somme des produits de la combustion :

$$\frac{O}{CO^2 + CO + H^2O},$$

et cela en marche maximum et en marche minimum.

Dans les cas ordinaires, ce rapport se simplifie parce que CO et H^2O sont négligeables, et se réduit à $\frac{O}{CO^2}$.

C'est donc le rapport de l'oxygène à l'anhydride carbonique que nous considérons comme le moyen le plus simple de se rendre compte du fonctionnement d'un foyer.

En effet, examinons quelques cas.

Supposons un calorifère en marche maximum contenant dans les fumées respectivement 19,8, 15,8, etc., à 0,70 d'oxygène et 1, 5, etc., à 20 % d'anhydride carbonique, on obtiendrait les rapports suivants :

1) $\frac{19,8}{1} = 19,8$; 2) $\frac{15,8}{5} = 3,1$; 3) $\frac{10,4}{10,4} = 1$;

4) $\frac{6,8}{14} = 0,4$; 5) $\frac{0}{20,8} = 0$.

1er cas. Un calorifère en marche maximum donne un rapport de l'oxygène à l'anhydride carbonique compris entre $\frac{19,8}{1} = 19,8$ et $\frac{15,8}{5} = 3,1$. Le volume des fumées par kilogramme de combustible serait respectivement de 100 m³ à 39 m³. La perte de chaleur étant proportionnelle au volume des fumées et à la température des gaz à leur entrée dans la cheminée. Cette perte sera dans ce cas très considérable puisque le volume des fumées est très grand.

Un appareil, qui en marche maximum rentrerait dans ce cas, devrait être rejeté, la quantité d'air admise dans l'appareil étant trop considérable. La construction serait défectueuse car la proportion de CO^2 ne dépasserait jamais 5 %. Dans ces conditions nous considérons tout calorifère en marche maximum dont le rapport $\frac{O}{CO^2}$ est > 3 comme mauvais.

2e cas. Soit un inextinguible dont l'analyse des gaz, des fumées donne un rapport compris entre $\frac{15,8}{5} = 3,1$

et $\frac{10,4}{10,4} = 1$. Le volume des fumées varierait de 39 à 22 m³, il est donc inférieur au cas précédent et il en serait de même pour la perte de chaleur.

Cet appareil, suivant que la teneur en anhydride carbonique se rapproche de 5 ou de 10,4 sera rangé dans les appareils passables ou bons.

3e cas. Les résultats d'analyse d'un calorifère donnant un rapport compris entre $\frac{10,4}{10,4} = 1$ et $\frac{6,6}{14} = 0,4$ on trouverait un volume des fumées variant de 22 m³ à 14 m³. Ce volume étant plus faible pour une même température des gaz la perte de chaleur sera aussi plus faible. Le fonctionnement d'un tel appareil serait très avantageux, aussi considérons-nous tout appareil dont le rapport en marche maximum varie de 1 à 0,4 comme très bon.

4e cas. Si nous considérons enfin un appareil où le rapport serait de $\frac{6,6}{14} = 0,4$ à $\frac{0}{20,8} = 0$, le volume des fumées serait dans ce cas inférieur à 14 m³ et la perte serait aussi réduite proportionnellement. Il semblerait donc qu'un appareil de ce genre pourrait être considéré comme bon ; ce n'est cependant pas le cas, car il y aurait presque toujours une proportion d'oxyde de carbone plus ou moins élevée qui accompagnerait la forte proportion d'anhydride carbonique formé et la disparition de l'oxygène. Nous devons donc considérer comme mauvais tout appareil dont le rapport de marche maximum est plus petit que 0,4.

Nous devons ajouter qu'en marche minimum le rapport $\frac{O}{CO^2}$ doit être plus élevé qu'en marche maximum, autrement dit, il doit se former moins d'anhydride carbonique. Si ce n'était pas le cas, l'appareil ne pourrait pas être réglé et il serait impossible de faire varier l'admission de l'air au moyen des régulateurs.

Il nous reste à examiner les résultats que nous ont fournis les principaux types d'appareils que l'on rencontre le plus fréquemment. Nous nous abstiendrons d'indiquer le nom et le constructeur de l'appareil.

N° 1. Calorifère inextinguible de construction moderne, type américain. Régulateur à vis. Enveloppe à portes multiples.

	Marche minimum.	Marche maximum.
Anhydride carbonique .	1,8	3.7
Oxygène.	19,2	15,9
$\frac{O}{CO^2}$	10,6	4,3
Température des gaz à l'entrée de la cheminée	105°	178°

Cet appareil est mauvais, il fonctionne comme un excellent ventilateur.

N° 2. Inextinguible du même type que le précédent, construction allemande. Les régulateurs à vis sont remplacés par des petites portes à glissières qui règlent plus ou moins mal l'entrée de l'air.

	Marche minimum.	Marche maximum.
Anhydride carbonique .	5,6	5,6
Oxygène.	14,4	14,4
$\frac{O}{CO^2}$	2,57	2,57
Température des fumées.	195°	260°

Cet appareil pourrait être considéré comme passable $\frac{O}{CO^2} = 2,7$; cependant nous devons constater qu'il n'y a point de différence entre la marche maximum et la marche minimum, il est impossible de régler et surtout de diminuer l'entrée de l'air, trop considérable.

Cet appareil ne vaut pas mieux que le précédent.

N° 3. Inextinguible, moins de portes que les deux précédents ; deux régulateurs à vis permettent de régler l'entrée de l'air.

	Marche minimum.	Marche maximum.
Anhydride carbonique .	1,6	3,1
Oxygène.	17,8	16,6
$\frac{O}{CO^2}$	11,1	5,35
Température	129°	210°

Mêmes observations que pour les Nos 1 et 2.

Ces appareils (Nos 1-3), tous de fabrication étrangère, ont le défaut de laisser entrer trop d'air, la combustion ne peut être réglée, la température des gaz à leur entrée dans la cheminée est beaucoup trop élevée. Ils ventilent sans chauffer ; la perte de chaleur est non seulement considérable, mais *la plus grande partie* de la chaleur est perdue dans la cheminée.

L'introduction de cette énorme quantité d'air a d'ailleurs été voulue par le constructeur, non qu'il tienne spécialement à ce que les acheteurs de ses appareils ne puissent se chauffer, mais afin de refroidir les parties du foyer pour éviter leur fusion ou leur détérioration trop rapide. Si les constructeurs de ces appareils voulaient diminuer ce défaut, il serait nécessaire de modifier complètement la construction des appareils.

N° 4. Inextinguible, semblable au N° 3, mais de construction plus parfaite, fabrication allemande.

	Marche minimum.	Marche maximum.
Anhydride carbonique .	1,7	4,7
Oxygène.	18,0	16,9
$\frac{O}{CO^2}$	10,6	3,6
Température des fumées	100°	110°

Cet appareil a les mêmes inconvénients que les précédents. Ceux-ci sont cependant moins exagérés. Nous considérons le N° 4 comme passable.

N° 5. Inextinguible, trois portes seulement. Régulateur à vis de construction soignée. Fabrication indigène.

	Marche minimum.	Marche maximum.
Anhydride carbonique .	3,6	13,2
Oxygène.	15,9	5,8
$\frac{O}{CO^2}$	4,4	0,44
Température des fumées.	50°	138°

Cet appareil est excellent, il se règle facilement et très bien; la température des gaz des fumées est normale.

N° 6. Appareil à combustion lente; non inextinguible. Deux portes, dont une à régulateur à vis. Construction simple et rudimentaire.

	Marche minimum.	Marche maximum.
Anhydride carbonique .	2,7	8,0
Oxygène.	16,6	13,2
$\frac{O}{CO^2}$	6,15	1,65
Température des fumées .	50°	110°

Appareil passable quand il n'y a pas production d'oxyde de carbone.

N° 7. Appareil semblable au N° 6, peut admettre une couche de combustible encore supérieure.

	Marche minimum.	Marche maximum.
Anhydride carbonique .	4,0	18,5
Oxygène.	16,7	1,1
$\frac{O}{CO^2}$	4,2	0,0054

Cet appareil est très mauvais vu la facile production de l'oxyde de carbone.

Nous devons remarquer :

1° Que dans ces résultats nous n'avons pas indiqué la proportion de l'oxyde de carbone dans les appareils N°s 1-5 ; elle ne dépassait que rarement 1 % et le plus souvent ne se formait qu'accidentellement; en fait, le calorifère N° 7 est le seul qui donnait 4 % d'oxyde de carbone.

2° En terminant nous devons rappeler qu'il ne suffit pas d'avoir un bon appareil inextinguible, il faut de plus le relier à une bonne cheminée; c'est comme cela et seulement ainsi que l'on évitera des accidents graves encore trop fréquents à l'heure actuelle.

Dr L. Pelet.

Installations électriques de la Commune de Lausanne.

(Suite et fin)[1].

Réseaux souterrains. — La ville de Lausanne est desservie par deux réseaux indépendants, l'un pour la lumière et l'autre pour la force motrice. Cette séparation a pour but d'éviter les fluctuations de lumière produites par la marche et surtout par le démarrage des moteurs voisins.

[1] Voir N° du 25 février 1903, page 51.

Les deux réseaux partent des rails collecteurs du tableau de l'usine transformatrice et sont alimentés à la tension de 3000 volts. Les câbles à haute tension, fournis par la Société d'exploitation des câbles électriques de Cortaillod, contiennent chacun trois conducteurs d'égale section tordus ensemble et isolés l'un de l'autre par une matière spéciale; le tout est entouré de deux enveloppes de plomb superposées, protégées elles-mêmes par des bandes de fer roulées en sens contraire l'une de l'autre. Une toile asphaltée forme l'enveloppe extérieure. La capacité électrostatique de ces câbles est plus faible que celle des câbles concentriques et en outre elle est la même pour les trois conducteurs; on a donc pu se passer de toute espèce de précautions pour éviter la rupture des isolants lorsque le courant est brusquement coupé; comme on le sait, de tels accidents arrivent quelquefois avec les câbles concentriques.

Les câbles ci-dessus décrits conduisent le courant dans cinq sous-stations réparties dans la ville. Là, chacun d'eux se bifurque pour aller alimenter les transformateurs de rues et de quartiers voisins, suivant le schéma ci-contre (fig. 42), qui donne aussi en millimètres carrés les sections des conducteurs employés. Les sous-stations contiennent elles-mêmes les transformateurs nécessaires pour l'alimentation des abonnés les plus proches (fig. 43).

Le réseau de force motrice est pour le moment moins développé que celui de lumière; il comprend actuellement une simple boucle fermée, avec quelques prolongements; il utilise aussi trois des sous-stations. Ce réseau sera complété au fur et à mesure des besoins.

Les transformateurs ont été fournis par la Société d'Electricité Alioth, à Münchenstein. Ils sont à trois noyaux horizontaux situés dans un même plan; l'enroulement secondaire est placé sous le primaire qui le recouvre complètement. Les enroulements primaires de chacun des noyaux sont connectés en triangle fermé, et les secondaires en étoile avec points et borne neutres. Cette disposition particulière a pour but d'atténuer l'effet sur la tension des inégalités de charge entre les trois phases, qui, en pratique, ne peuvent être évitées.

Les transformateurs de rues sont établis dans des tourelles métalliques à manteau tournant (fig. 44 et 45) muni d'une porte permettant d'atteindre facilement toutes les parties de l'appareillage. Ces tourelles peuvent recevoir chacune deux transformateurs triphasés de 33 kilowatts, placés l'un au-dessus de l'autre. On a mis le plus grand soin à séparer complètement les appareils ou les conducteurs à haute tension de ceux à basse tension, et à rendre inoffensive toute irruption de courant primaire dans les circuits secondaires. C'est ainsi que la tourelle elle-même est mise à la terre par un conducteur spécial aboutissant soit à une plaque de cuivre enfouie dans le sol, soit à un tuyau d'eau; en outre, le point neutre des se-