

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 29 (1938)
Heft: 11

Artikel: Le chauffage de l'Hôtel de ville de Zurich par thermo-pompe
Autor: Egli, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058976>

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: 22.02.2026

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 51.742
Chèques de postaux VIII 8481

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

XXIX^e Année

N^o 11

Vendredi, 27 Mai 1938

Le chauffage de l'Hôtel de ville de Zurich par thermo-pompe.

Par Max Egli, Zurich.

621.181.63

Il est depuis longtemps question du chauffage des locaux par thermo-pompe actionnée électriquement, en vue d'utiliser d'une façon économique l'énergie électrique (cf. Bull. ASE 1937, No. 18, p. 429 ff). De nombreux spécialistes prétendent encore que ce système, bien connu en physique, serait réellement très peu économique en pratique. Les conditions particulières de l'Hôtel de ville de Zurich ont permis d'entreprendre un essai sur une grande échelle. Les spécialistes sont très reconnaissants aux autorités et aux fonctionnaires d'avoir eu le courage de leur permettre de réaliser cette expérience extrêmement intéressante et d'offrir aux constructeurs l'occasion de mettre leur projet à l'épreuve.

Cet article est tiré de la conférence que l'auteur a faite au Cercle Technique de Zurich, le 24 mars 1938. Cette société groupant des ingénieurs de toutes les disciplines, voire même des membres non-techniciens, il était nécessaire d'entrer dans certains détails, qui sont bien connus de nos lecteurs, en particulier les questions relatives à l'énergie. Toutefois, ces détails figurent également dans le présent article, afin qu'il soit complet.

Le principe de la thermo-pompe est tout d'abord exposé d'une façon aussi simple que possible. La thermo-pompe soutire de la chaleur d'un agent à température relativement basse (par exemple de l'eau ou de l'air) et l'amène à un agent à température plus élevée. Dans l'installation de Zurich, le premier agent est l'eau de la Limmat, qui coule près de l'Hôtel de ville. Le second agent est l'eau du chauffage central. Selon les lois de la thermodynamique, un cycle de ce genre ne peut pas s'effectuer de lui-même, comme dans le cas du cycle inverse. Il faut pour cela l'appoint d'un certain travail. Ce travail est également transformé en chaleur dans la thermo-pompe et sert, avec la chaleur soutirée de l'eau de la Limmat, au chauffage de l'eau du chauffage central. Le cycle de la thermo-pompe est en quelque sorte le suivant: L'eau de la Limmat, dont la température est de 3 à 15° C durant l'hiver, est utilisée pour provoquer la vaporisation d'un liquide bien connu dans l'industrie des réfrigérateurs, qui bout à basse température (par exemple à -7° C sous une pression absolue de 2,5 kg/cm²). La chaleur nécessaire est donc soutirée de l'eau de la Limmat, qui se refroidit. Cette eau retourne ensuite à la rivière. La vapeur, qui renferme ainsi la chaleur soutirée de cette eau, est alors comprimée par un compresseur et s'échauffe à tel point qu'elle devient plus chaude que l'eau du chauffage central. Cette vapeur renferme donc la chaleur de deux sources: celle de l'eau de la Limmat et celle fournie par le compresseur, qui la tire de l'énergie fournie à son moteur. La vapeur surchauffée cède sa chaleur à l'eau plus froide du chauffage central, dont la température augmente de ce fait et qui sert au chauffage des locaux. Par suite de cette cession de chaleur, la vapeur se refroidit; elle se condense et redevient un liquide, qui se trouve évidemment à une pression élevée, de l'ordre de 15 kg/cm²). Une soupape de réduction le ramène à sa pression et à sa température initiales, et le cycle peut recommencer.

Quel est le rôle de l'électricité dans cet appareil? Elle intervient pour actionner le moteur du compresseur, ainsi que diverses pompes auxiliaires d'importance secondaire. Le moteur transforme l'énergie électrique en énergie mécanique, qui est elle-même transformée en chaleur par le compresseur.

Schon lange spricht man von der elektrisch angetriebenen Wärmepumpe als einer Möglichkeit der wirtschaftlichen Verwendung der Elektrizität zur Raumheizung (siehe z. B. Bull. SEV 1937, Nr. 18, S. 429), aber die Frage, ob dieser in der Physik längst bekannte Apparat in der Praxis wirklich wirtschaftlich sei, wird noch diskutiert. Die besonderen Verhältnisse im Zürcher Rathaus ermöglichten nun einen Grossversuch. Die Fachleute rechnen es den zuständigen Behörden und Beamten hoch an, dass sie zu diesem aufschlussreichen Experiment wagemutig Hand boten und den Konstrukteuren Gelegenheit gaben, ihre Ideen unter Beweis zu stellen. Ueber diese Anlage wird im folgenden berichtet. Es handelt sich dabei um die Wiedergabe eines Vortrages, den der Autor am 24. März 1938 vor der Technischen Gesellschaft Zürich hielt. Da diese Gesellschaft Ingenieure aller Disziplinen und technisch interessierte Laien umfasst, musste allerlei gesagt werden, was unsere Leser gut kennen; das gilt besonders für das rein Energiewirtschaftliche. Der Vollständigkeit halber geben wir auch diese Teile wieder.

Einleitend sei versucht, das Prinzip der Wärmepumpe in einfachen Worten zu erläutern. Die Wärmepumpe «pumpt» Wärme aus einem Wärmeträger niedriger Temperatur (z. B. Wasser oder Luft) in einen Wärmeträger höherer Temperatur. Der erste Wärmeträger ist im vorliegenden Fall das Wasser der Limmat, an der das Rathaus steht; der zweite Wärmeträger ist das Zentralheizungswasser. Ein Wärmeübergang von einem Wärmeträger auf einen andern, der höhere Temperatur hat, geht nach den Gesetzen der Thermodynamik nicht von selbst vor sich, sondern er ist nur möglich, wenn von aussen Arbeit zugeführt wird; diese Arbeit wird in der Wärmepumpe auch in Wärme umgewandelt und wird, zusammen mit der dem Limmatwasser entzogenen Wärme, zur Aufheizung des Zentralheizungswassers benützt. Der Wärmepumpenprozess geht etwa folgendermassen vor sich:

Das Limmatwasser, das während der Heizperiode etwa 3 bis 15° C warm ist, wird benützt, um eine von den Kühlschränken her bekannte Flüssigkeit, die bei niedriger Temperatur, z. B. bei -7° C und einem absoluten Druck von 2,5 kg/cm², siedet, zu verdampfen. Die hiezu nötige Wärme wird also dem Limmatwasser entzogen, so dass sich dieses abkühlt. Dann fliesst es in die Limmat zurück. Der Dampf, der nun die dem Limmatwasser entzogene Wärme enthält, wird durch einen Kompressor verdichtet. Dadurch nimmt er bei konstantem Volumen die Kompressionsarbeit auf, so dass seine Temperatur steigt. Die Kompression erfolgt so stark, dass die Dampftemperatur höher wird als die des Zentralheizungswassers. Der Dampf enthält nun Wärme aus zwei Quellen: die aus dem Limmatwasser und die, welche der Kompressor aus der ihm durch den Motor zugeführten Energie erzeugt hat. Er gibt nun Wärme an das kältere Zentralheizungswasser ab, wodurch dessen Temperatur steigt und zur Heizung der Räume benützt werden kann. Durch die Wärmeabgabe an das Zentralheizungswasser kühlt sich der Dampf ab und kondensiert sich zur Ausgangsflüssigkeit, die nun allerdings unter hohem Druck (Grössenordnung 15 kg/cm²) steht. Durch ein Reduzierventil wird sie auf die ursprünglichen Werte von Druck und Temperatur entspannt und kann den Kreislauf von neuem beginnen.

Welche Rolle spielt die Elektrizität bei diesem Apparat? Sie wird benützt, um durch einen Elektromotor den Kom-

Pour chaque kWh absorbé par le moteur, on obtient ainsi 860 kcal, dont il faut déduire les pertes des machines. (Le chauffage électrique par résistances donne l'équivalent théorique de 860 kcal/kWh.) D'autre part, le groupe de machines soutire en outre de la chaleur à l'eau de la Limmat. Ce sont ces deux sources de chaleur qui contribuent à l'élévation de température de l'eau du chauffage central. La thermo-pompe produit donc avec un kWh d'électricité plus de chaleur que l'équivalent thermique de 860 kcal, soit plus de 2000 kcal dans le cas de l'installation de Zurich. Le thermo-pompage est donc nettement supérieur au chauffage électrique par résistances.

Le moteur électrique pourrait être évidemment remplacé par un autre genre de commande, par exemple par une turbine hydraulique ou tout autre moteur primaire. Le moteur électrique est toutefois le plus pratique et le moins cher. La thermo-pompe offre donc la possibilité d'utiliser l'électricité pour le chauffage des locaux. L'important essai entrepris dans l'Hôtel de ville de Zurich est donc extrêmement intéressant pour les centrales électriques.

Cet article indique les raisons qui ont conduit à l'installation de Zurich, dont il décrit le projet et l'exécution. Cette installation est entièrement automatique. Elle peut être utilisée en été pour la réfrigération des locaux, par une simple commutation de 4 vannes, car la thermo-pompe n'est pas autre chose qu'un réfrigérateur dont le cycle est inversé. Pour le service de chauffage, l'eau de la Limmat est refroidie et l'Hôtel de ville chauffé; pour le service de réfrigération, c'est l'Hôtel de ville qui est refroidi et l'eau de la Limmat qui est réchauffée. La simplicité de l'inversion de la thermo-pompe en vue du service de réfrigération lui confère un nouvel avantage sur les autres systèmes de chauffage. Enfin, l'auteur donne quelques chiffres sur les frais de construction et aussi, appuyé sur les observations recueillies depuis la récente mise en service (3 mois seulement), quelques indications sur les frais d'exploitation. Il semble possible d'atteindre avec la thermo-pompe, vis-à-vis du chauffage à la houille, un prix d'équivalence de 3 à 5 cts/kWh.

(La Rédaction.)

Introduction.

Le chauffage central prévu lors de la rénovation de l'Hôtel de ville du canton de Zurich ne pouvait pas être équipé de chaudières au charbon. Il fallut donc examiner avec soin les possibilités d'un chauffage à l'électricité. Dans ce but, on commença par établir un diagramme de la consommation journalière d'énergie de chauffage, afin de pouvoir le comparer au diagramme de charge du réseau électrique de la Ville de Zurich (fig. 1). La partie supérieure de ce diagramme indique la puissance débitée en 24 heures par les usines électriques de la Ville de Zurich. Entre 7 h et 20 h, les conditions sont telles qu'une forte augmentation de la puissance installée est indésirable, sauf de 9 h à 11 h et de 12 h 30 à 16 h. Par contre, le réseau ne présente le reste du temps qu'une charge moyenne qui permettrait en principe une fourniture de courant à prix réduit; ainsi, durant la nuit, la fourniture d'énergie pourrait être accrue sans difficulté. La partie inférieure du diagramme indique la consommation d'énergie pour le chauffage, durant ces mêmes 24 heures, par l'inscription de la température extérieure reportée en abscisses. Pour une température de 18° C dans les locaux, l'énergie nécessaire au chauffage peut être représentée par la surface hachurée. La consommation est presque constante lorsque le ciel reste couvert toute la journée, tandis qu'elle varie selon la ligne pointillée (2) lorsque la journée d'hiver est ensoleillée. Il s'ensuit que le chauffage exige la to-

pressor (und einige belanglose Hilfspumpen) anzutreiben. Der Motor verwandelt die Elektrizität in mechanische Arbeit, der Kompressor die mechanische Arbeit in Wärme, und zwar für jede vom Motor aufgenommene kWh 860 kcal minus die Verluste der Maschinen. (Die elektrische Widerstandsheizung gibt das theoretische Aequivalent von 860 kcal/kWh.) Nun entzieht aber die Maschinengruppe noch viel Wärme dem Limmatwasser. Beide Wärmemengen zusammen heizen das Zentralheizungswasser. So «erzeugt» die Wärmepumpe aus einer kWh Elektrizität mehr als das theoretische Aequivalent von 860 kcal an Wärme, nämlich, im Rathaus, über 2000. Darin ist die Wärmepumpe zum vornherein der elektrischen Widerstandsheizung überlegen.

Natürlich könnte statt des Elektromotors eine andere Antriebsart verwendet werden, z. B. eine Wasserturbine oder ein anderer Primärmotor; der Elektromotor ist aber viel praktischer und billiger als die andern Antriebsmittel. Die Wärmepumpe ist also ein Mittel, um die Elektrizität zur Raumheizung zu verwenden. Daher bedeutet der grosszügige Versuch im Zürcher Rathaus für die Elektrizitätswerke ein äusserst interessantes Unternehmen.

Im folgenden Aufsatz werden die Voraussetzungen, die zum Bau der Anlage führten, die Projektierung und die Ausführung beschrieben. Die Anlage ist ganz bedienungslos: sie ist automatisch gesteuert. Im Sommer wird sie durch Umstellen von 4 Ventilen zur Kühlung benützt, denn die Wärmepumpe ist nichts anderes als eine Kühlmaschine mit zwei vertauschten Aggregaten. Im Heizungsbetrieb wird das Limmatwasser gekühlt und das Rathaus erwärmt; im Kühlbetrieb wird das Rathaus gekühlt und das Limmatwasser erwärmt. Die einfache Umstellung der Wärmepumpe auf Kühlbetrieb sichert ihr einen weiteren Vorteil gegenüber anderen Heizungsarten. Schliesslich werden einige Angaben über die Baukosten und, auf Grund der kurzen Betriebszeit (3 Monate), einiges über die Betriebskosten gesagt. Es scheint möglich zu sein, bei der Wärmepumpe einen Aequivalenzpreis gegenüber Kohleheizung von 3 bis 5 Rp./kWh zu erzielen.

(Die Redaktion.)

(Traduction.)

talité de la fourniture d'énergie, à un moment où les exigences des autres consommateurs sont les plus grandes. D'autre part, il ne serait pas possible d'ad-

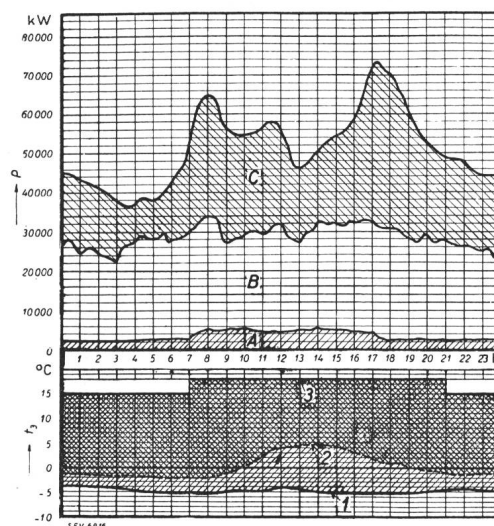


Fig. 1.

En haut: Charge (P) du réseau de la Ville de Zurich, le 13 décembre 1935.

- A Puissance provenant d'autres réseaux.
- B Usines au fil de l'eau.
- C Usines à accumulation.

En bas: Variation de la température extérieure (t_a) à Zurich, 1 le 13 décembre 1935 (ciel couvert), 2 un jour d'hiver ensoleillé, 3 température normale appropriée des locaux.

La variation de température est une indication pour la variation de consommation de chaleur par unité de temps.

mettre des durées de blocage correspondant au diagramme de charge du réseau, et la durée de consommation d'énergie de chauffage réduit coïnciderait précisément avec la durée de faible charge du réseau.

Or, si les conditions de fourniture d'énergie pour les besoins du chauffage journalier ne sont pas particulièrement favorables, elles le sont encore bien moins pour le service annuel. La figure 2 montre le diagramme de la production d'énergie mensuelle des usines électriques de la ville de Zurich de 1933 à 1936. Les moyennes mensuelles des températures extérieures figurent au bas du diagramme; les surfaces hachurées indiquent les consommations de chaleur nécessaires au chauffage des locaux à 18° C, en admettant que l'installation de chauffage

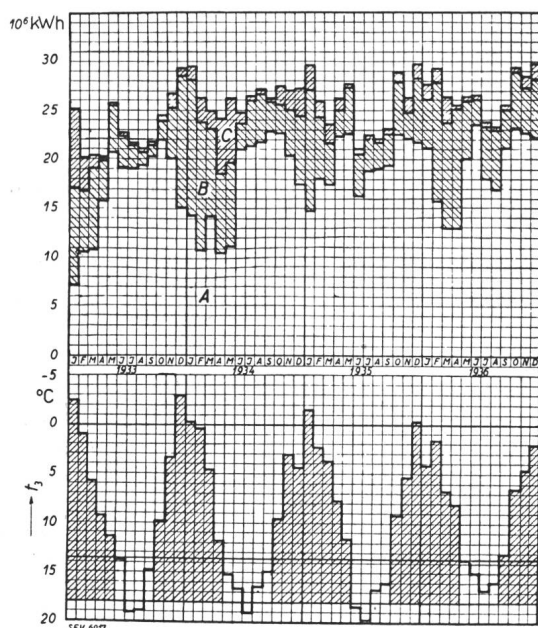


Fig. 2.

En haut: Fourniture d'énergie mensuelle du réseau de la Ville de Zurich, de 1933 à 1936, en millions de kWh.

A Usines au fil de l'eau.

B Usines à accumulation.

C Puissance fournie par d'autres réseaux.

En bas: Variation de la consommation mensuelle d'énergie de chauffage de 1933 à 1936, resp. variation de la température extérieure (t_e).

soit mise en service lorsque la température extérieure est inférieure à 13,5° C. Ce diagramme permet de constater que les pointes de charge pour le service de chauffage se présentent précisément aux époques où les usines à accumulation sont soumises à une sollicitation maximum, sauf dans quelques cas où il se produit un décalage dû à des précipitations exceptionnellement fortes. Le chauffage électrique des locaux ne pourrait donc pas être réalisé, sous forme d'un chauffage direct par résistances, sans grever fortement les budgets des centrales électriques ou des consommateurs, car le prix d'équivalence d'un kWh n'atteint que 1,2 cts environ par rapport à un chauffage central au charbon, ou 1,5 cts par rapport au chauffage au mazout.

Cette constatation quelque peu décourageante incite néanmoins à rechercher d'autres solutions pratiquement réalisables. Pour l'instant, deux solutions peuvent se présenter. La première consiste à utiliser une accumulation de chaleur permettant de supprimer la fourniture d'énergie aux heures de pointes du réseau. Si l'on peut accumuler de la chaleur nécessaire au chauffage des locaux pour les heures de forte charge du réseau et en particulier des centrales à haute pression, afin de compléter l'énergie de chauffage nécessaire le reste du temps, il est possible d'atteindre un prix du kWh approchant le prix d'équivalence du combustible, sans déséquilibrer le budget des centrales électriques. L'autre solution consiste à utiliser la chaleur gratuite des agents naturels, à l'aide de machines actionnées électriquement. La thermo-pompe est précisément une machine permettant de réaliser ce cycle thermodynamique. C'est la solution à laquelle on a eu recours pour le chauffage de l'Hôtel de ville de Zurich.

La thermo-pompe.

Pour comprendre le fonctionnement d'une thermo-pompe, il est nécessaire de se rappeler quelques-unes des notions fondamentales de la thermodynamique. Quand un gaz ou une vapeur sont comprimés sans soutirage de chaleur, leur température s'élève. Pour condenser une vapeur à une température donnée, il faut une pression déterminée. Inversement, pour vaporiser un liquide à une température donnée, il faut une pression déterminée. Pour vaporiser une unité de poids d'un liquide à une température donnée, il faut une quantité de chaleur déterminée, qui est libérée entièrement lorsque la même quantité de vapeur est condensée à la même température.

La figure 3 montre le schéma d'une installation de thermo-pompe. L'eau d'une rivière est pompée dans un réservoir (l'évaporateur) parcouru par un serpentín. La pression d'un liquide très volatil y est réglée de façon que la température correspondante soit sensiblement inférieure à celle de l'eau qui s'écoule le long du serpentín. Cette différence de température provoque un échange de chaleur par le serpentín, entre l'eau et le liquide très volatil, qui se vaporise. Les vapeurs ainsi obtenues, qui renferment la chaleur cédée par l'eau, sont aspirées par un compresseur et condensées (sans cession de chaleur), de sorte que leur température s'élève. Elles passent ensuite par un second serpentín (le condenseur) logé dans un réservoir parcouru par l'eau du chauffage central, où la pression est également réglée de façon que la température de vapeur correspondante soit supérieure à celle de l'eau du chauffage central. Il en résulte un échange de chaleur par le serpentín, entre la vapeur et l'eau, de sorte que les vapeurs se condensent. Ainsi, la chaleur de vaporisation soutirée de l'eau de la rivière est transmise à l'eau du chauffage central, à l'exception de la chaleur latente du liquide. Après avoir été détendu dans une soupape de réduction, ce liquide peut s'écouler à nouveau vers l'évaporateur.

L'apport ininterrompu de la chaleur de l'eau de la rivière à l'eau du chauffage central exige une installation de machines qui fait constamment circuler l'agent thermique. Ce dernier est du dichlorodifluorméthane, dont l'appellation commerciale est fréon 12. Cette matière est fabriquée principalement en Amérique. Son poids spécifique est de 1,4

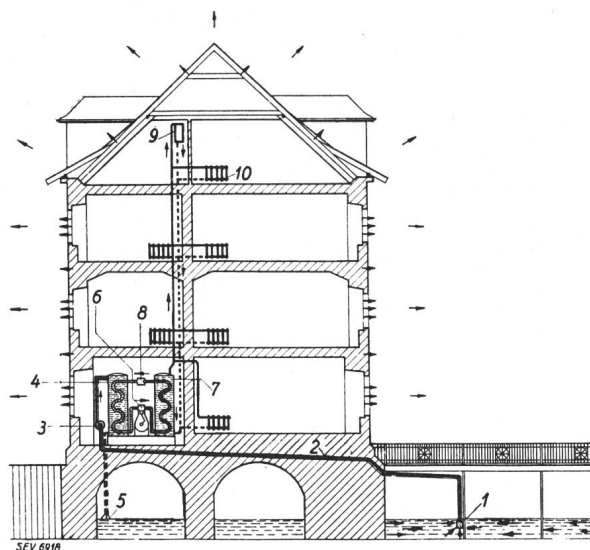


Fig. 3.

Principe du chauffage par thermo-pompe.

1 Crépine. 2 Tuyauteurie d'amenée d'eau de la rivière. 3 Pompe à eau froide. 4 Evaporateur. 5 Tuyauteurie de départ d'eau de la rivière. 6 Compresseur. 7 Condenseur. 8 Soupape de réduction. 9 Réservoir d'expansion. 10 Radiateurs.

kg/dm³. A l'état de vapeur, elle est inodore, non-toxique et à pression stable. Mais à 0° C, sa chaleur de vaporisation n'est que de 37 kcal/kg.

A la même température, la pression absolue de vaporisation est de 3,15 kg/cm², ou, par exemple à -7° C, de 2,5 kg/cm²; pour une température d'entrée de l'eau du chauffage central de 60° C, le fréon atteint une température de condensation de 65° C, sous une pression absolue de 18 kg/cm².

Détermination de la puissance d'une thermo-pompe.

Le principe de Carnot, bien connu en thermodynamique, caractérise le fonctionnement de la thermo-pompe. Le rapport entre la puissance absorbée et la puissance fournie par une machine sans pertes est donc le suivant:

$$\eta_{th} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

où T_1 est la température de l'agent thermique à la sortie et T_2 sa température à l'entrée de la machine. Ce rapport est représenté par la ligne pointillée de la figure 4. Les familles de courbes indiquent les conditions de puissance, en tenant compte de toutes les pertes. On sait par expérience que la température de l'eau de la Limmat ne descend jamais au dessous de 3° C et qu'elle peut fort bien atteindre

encore 15° C au début de la période de chauffage. La puissance nécessaire à la commande est d'autant plus faible que la température moyenne de l'eau du chauffage central est plus basse. Sa limite inférieure est déterminée par la grandeur des radiateurs à installer dans les niches des fenêtres, en tenant compte également de la diminution du coefficient de trans-

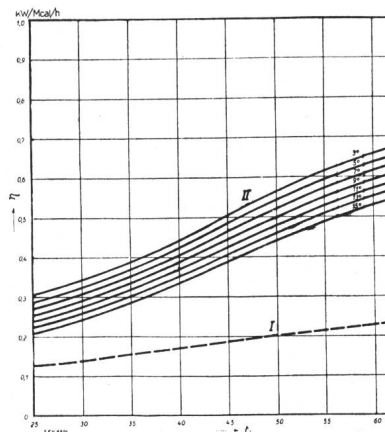


Fig. 4.

Puissance spécifique de commande (η) de la thermo-pompe en kW/1000 kcal/h, en fonction de la température d'entrée (t_2) du chauffage central en °C.

— Courbes de la puissance spécifique absorbée par le moteur du compresseur, y compris toutes les pertes de la thermo-pompe et la puissance absorbée par les pompes de circulation, pour différentes températures de l'eau de la rivière.
---- Courbe théorique pour un cycle sans pertes.

mission de la chaleur des radiateurs, par suite de la diminution de l'écart entre la température des radiateurs et celle du local.

En partant de ces données, on peut déterminer le rapport numérique entre la puissance absorbée par la thermo-pompe et le débit horaire de chaleur. La courbe *a* de la figure 5 indique la fréquence des

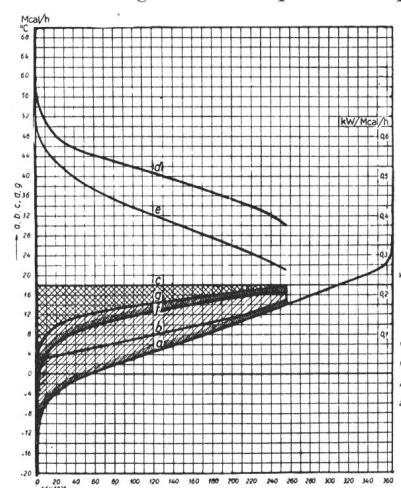


Fig. 5.

Courbes permanentes, établies sur la base de mesures effectuées à Zurich durant les 60 dernières années.

- a Courbe de la température journalière moyenne en °C. Exemple: Pendant 200 jours la température journalière moyenne est inférieure à 10° C, et pendant 165 jours supérieure à 10° C.
- b Courbe de la température de l'eau de la Limmat en °C.
- c Température à maintenir dans les locaux en °C.
- d Courbe de la température d'entrée de l'eau du chauffage central en °C.
- e Courbe de la puissance spécifique de commande en kW/Mcal/h.
- f Courbe de la puissance de commande en kW.
- g Courbe du travail horaire fourni en Mcal/h.

températures en fonction du nombre de jours; elle indique le nombre de jours de l'année où la température est inférieure à une certaine température journalière moyenne. Les jours où la température extérieure est inférieure à $13,5^{\circ}\text{C}$, il est nécessaire de chauffer, afin de maintenir dans les locaux une température de 18°C durant toute la journée. Des résultats de mesure faisant défaut, on s'est basé sur l'augmentation linéaire de la température de l'eau de la Limmat avec le nombre de jours et sur la coïncidence du jour le plus froid avec le jour où cette eau est la plus froide, selon la droite *b*. L'indice de transmission de chaleur des radiateurs étant connu, la température d'entrée de l'eau *d* est ainsi déterminée pour chaque température extérieure. A l'aide de cette courbe et de la droite représentant la température de l'eau de la Limmat, la courbe de la puissance spécifique de commande peut être tirée du diagramme de la fig. 4 pour tous les jours de l'année, pour lesquels la valeur est reportée en-dessus du zéro de température, sur la droite du diagramme. En multipliant l'écart entre la température des locaux et la température extérieure par les constantes correspondantes, on obtient le débit de chaleur horaire nécessaire au chauffage. Enfin, ce débit multiplié par la puissance spécifique de commande donne la puissance réelle de commande. La courbe *f* résulte de l'exécution de ce calcul pour tous les jours de l'année. La surface comprise entre la courbe *a*, la perpendiculaire menée par le point de coupure de la courbe *a* avec la température extérieure de $13,5^{\circ}\text{C}$, la droite *c* de la température des locaux et l'ordonnée, est proportionnelle au travail spécifique de chauffage à fournir annuellement. La surface comprise entre les droites ci-dessus et la courbe *f* indique le travail spécifique de commande nécessaire. Par transformation des unités de puissance électrique en unités thermiques, en tenant compte du rendement thermique d'un chauffage, la courbe *f* donne la courbe *g*, qui indique par la surface comprise entre elle et les droites le travail absorbé, tandis que la surface comprise entre ces droites et la courbe *a* indique le travail fourni, à la même échelle. Ce diagramme sert de base pour le calcul de la puissance de toute installation de thermo-pompe. Le rapport des deux surfaces indique pour le chauffage de l'Hôtel de ville de Zurich 2360 kcal/kWh.

Le projet de l'installation de l'Hôtel de ville de Zurich.

L'installation a été prévue sur la base de ce rapport, obtenu par les calculs. Afin de réduire autant que possible la puissance installée, la thermo-pompe a été combinée avec un accumulateur de chaleur muni d'un chauffage par résistances.

Dans le diagramme de charge de la figure 6, les quantités de chaleur nécessaires sont indiquées en fonction du temps pour une semaine entière (courbe *a*). Ce diagramme présente trois fortes pointes: celle du lundi matin, lorsque la salle du Conseil d'Etat et les salles annexes sont occupées durant

la séance du Grand-Conseil, celle du mercredi après-midi, lorsque ces mêmes locaux sont utilisés durant la séance du Conseil général de la Ville de Zurich, et celle du vendredi, en cas d'utilisation de ces locaux et d'une autre salle de conférence. Les pointes régulières de 65 kW ont lieu aux heures d'ouverture des bureaux de deux administrations cantonales logées dans ce bâtiment, tandis que la pointe de charge du jeudi provient de l'utilisation de la salle du Conseil d'Etat. L'horizontale *b* délimite la puissance absorbée par la thermo-pompe (38 kW). La sur-

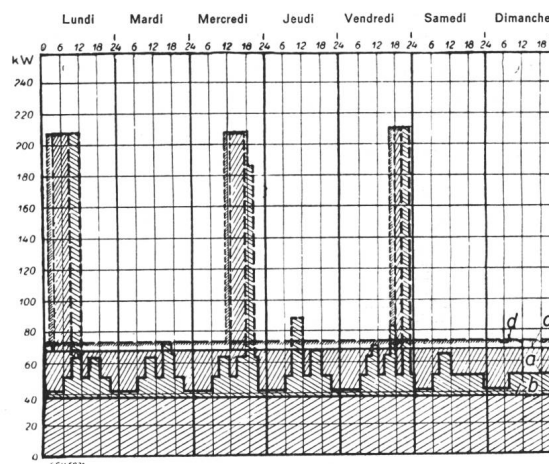


Fig. 6.

Puissance nécessaire pour le chauffage de l'Hôtel de ville de Zurich, au cours d'une semaine. Température extérieure supposée -20°C .

- 0 — *a* Consommation de chaleur.
- 0 — *b* Puissance de chauffage assurée par la thermo-pompe.
- b* — *c* Puissance de chauffage assurée par le chauffage au moyen de résistances.
- a* — *c* Chaleur absorbée et chaleur fournie par l'accumulateur.
- c* — *d* Chauffage de secours par résistances.

face comprise entre cette horizontale et la ligne *a* désigne la charge de chauffage qui doit être assurée par le chauffage par résistances, dont la puissance installée est de 30 kW. Les surfaces comprises entre la ligne *a* et l'horizontale *c* indiquent la puissance absorbée et la puissance débitée du dispositif d'accumulation de chaleur; en-dessous de 68 kW, la chaleur est accumulée, et en-dessus de 68 kW, elle est débitée. Cette combinaison permet d'assurer le service avec une puissance installée de 68 kW, en particulier durant les trois fortes pointes de charge, tout en disposant en outre d'une réserve de 5 kW (horizontale *d*). Cette répartition du service permet non seulement de maintenir la température désirée dans les locaux qui occasionnent les pointes de charge (même lorsque la température extérieure est de -20°C), mais également de disposer des quantités d'énergie nécessaires à leur mise en chauffage, représentées par les surfaces en avant des pointes de charge. L'accumulation de chaleur est d'autant moins sollicitée que la température extérieure moyenne est plus élevée.

L'installation en question est représentée schématiquement sur la figure 7. Elle comporte un évaporateur, un condenseur et un compresseur, ainsi qu'une pompe qui fait circuler l'eau froide soutirée de la Limmat. A la sortie du condenseur, l'eau du chauffage central passe tout d'abord dans l'accumu-

lateur de chaleur avant d'atteindre le réservoir d'expansion. Lorsque les besoins de chaleur dépassent la puissance thermique de la pompe, l'eau du chauffage central est amenée à la température voulue par l'accumulateur de chaleur. L'eau ainsi réchauffée est alors conduite aux radiateurs et aux réchauffeurs d'air.

Une des caractéristiques essentielles de la thermopompe est de pouvoir être utilisée au besoin comme réfrigérateur. Des tuyauteries relient dans ce but

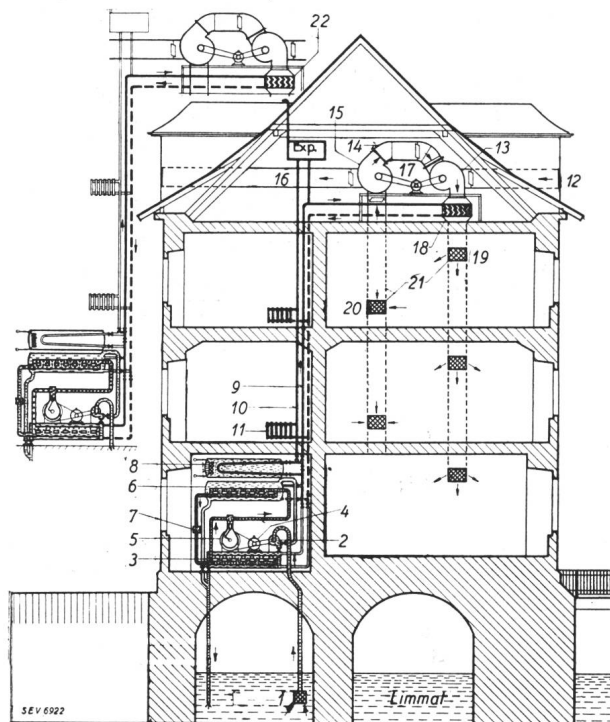


Fig. 7.

Schéma de l'installation de l'Hôtel de ville de Zurich.

Service de chauffage:

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 Crépine. | 12 Air frais. |
| 2 Pompe de circulation de l'eau de la Limmat. | 13 Ventilateur d'air frais. |
| 3 Evaporateur. | 14 Air de circulation. |
| 4 Rotor. | 15 Ventilateur d'évacuation d'air. |
| 5 Compresseur. | 16 Air évacué. |
| 6 Condenseur. | 17 Moteur. |
| 7 Soupape de réduction. | 18 Réchauffeur d'air. |
| 8 Accumulateur avec résistance de chauffe. | 19 Arrivée d'air. |
| 9 Amenée d'eau de chauffage. | 20 Sortie d'air. |
| 10 Retour d'eau de chauffage. | 21 Grille de ventilateur. |
| 11 Radiateurs. | 22 Réfrigérateur d'air. |

En haut, à gauche: Service de réfrigération.

les sections du chauffage central à l'évaporateur, de telle sorte que l'eau de la Limmat est dirigée vers le condenseur au lieu de l'être vers l'évaporateur. Le passage du service de chauffage au service de réfrigération s'effectue par la manœuvre de quatre vannes à trois voies. Quand les vannes sont en position de service de réfrigération, les serpentins de l'évaporateur baignent dans l'eau du chauffage central, qui cède la chaleur nécessaire à l'évaporation du fréon. Cette chaleur est amenée par le compresseur dans le condenseur et cédée à l'eau de la Limmat qui baigne ses serpentins. L'eau du chauffage central est ainsi refroidie et l'eau de la Limmat réchauffée; en outre, l'eau du chauffage central refroidit également l'air frais nécessaire à la ventilation. Ce double emploi de la machine lui assure un champ d'application très étendu. Elle présente donc

un très grand intérêt, non seulement pour les régions où les besoins de chauffage sont importants, mais également pour les contrées très chaudes, ainsi que pour celles où les besoins de chauffage et de réfrigération se font également sentir, cette machine pouvant alors fonctionner toute l'année. Dans notre pays, il existe également des locaux dont le refroidissement présente un intérêt généralement sous-estimé.

L'accumulateur de chaleur.

Le répartition de la puissance de la thermopompe et de celle de l'accumulateur de chaleur dépend essentiellement de la variation de leurs grandeurs respectives en fonction des frais. Tandis que la puissance nominale de la thermo-pompe peut être déduite directement du diagramme de charge, la pression et le volume de l'accumulateur de chaleur ne sont pas donnés d'avance. Le choix du medium de l'accumulateur a porté en principe sur l'eau, et la pression maximum a dû être déterminée par le calcul. La figure 8 fournit les renseignements nécessaires. La capacité d'accumulation de l'eau est

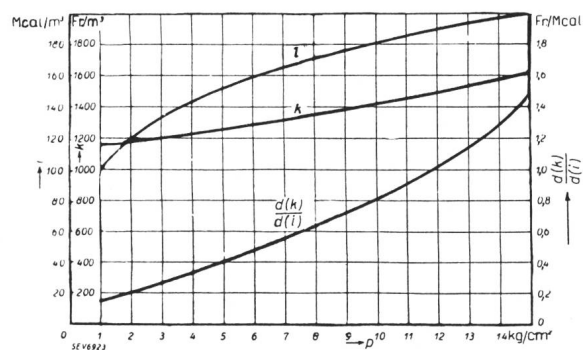


Fig. 8.

Détermination de la puissance de l'accumulateur de chaleur.
i Capacité d'accumulation de l'eau en Mcal en fonction de la pression en kg/cm².

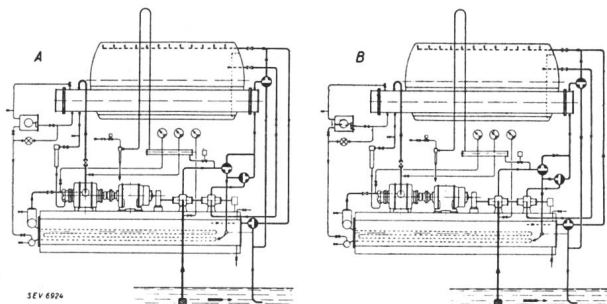
k Frais spécifiques en frs./m³ en fonction de la pression.

indiquée en fonction de la pression par la courbe *i* et les frais par m³ de volume sont représentés par la courbe *k*. L'accroissement de la chaleur spécifique diminuant quand la pression augmente, tandis que l'accroissement des frais augmente avec la pression, la courbe de l'accroissement des frais par rapport à l'augmentation de la capacité thermique s'incurve de plus en plus fortement vers le haut, de telle sorte qu'un accumulateur de plus de 12 kg/cm² de pression n'est plus économique. On a adopté un accumulateur de chaleur d'une contenance nominale de 6,6 m³, pour une pression de service de 10,7 kg/cm².

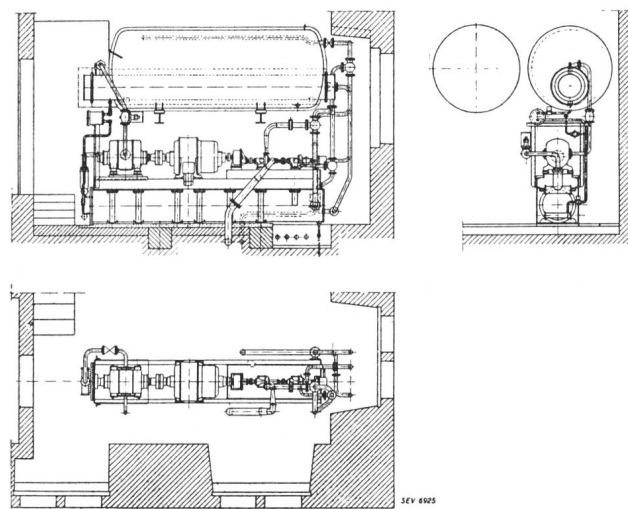
Description de l'installation.

La figure 9 montre le schéma de service de la thermopompe installée, aussi bien pour le chauffage que pour la réfrigération. Pour le service de chauffage, l'eau de la Limmat est aspirée par la pompe à eau froide, qui l'envoie sous pression à l'évaporateur par une première vanne à trois voies. Cette eau retourne ensuite à la Limmat par une seconde vanne à trois voies. L'eau du chauffage central est soutirée par la pompe à eau chaude du

réservoir d'expansion, qui communique directement avec la tuyauterie du chauffage central; elle est conduite par une troisième vanne à trois voies au condenseur logé dans le réservoir d'expansion, puis elle est mélangée à nouveau à l'eau du chauffage central par une conduite de distribution. Les vapeurs de fréon sont accumulées dans une tubulure montée sur l'évaporateur, aspirées par le compres-



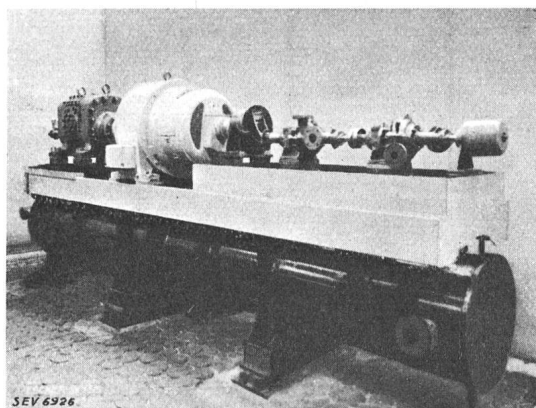
seur, comprimées et dirigées vers le condenseur. Le fréon condensé est ramené ensuite à l'évaporateur par un réservoir à flotteur et une soupape de réduction. Une tuyauterie spéciale ramène à la pompe à huile du compresseur l'huile entraînée et refroidie dans le condenseur. Au cas où la conduite d'aspiration de l'eau de la Limmat se viderait pour une raison quelconque, un injecteur branché sur la canalisation d'eau de la ville et commandé par des soupapes à commande électrique aspirerait automatiquement l'air renfermé dans la conduite, jusqu'à ce que la pompe à eau froide soutire à nouveau l'eau de la Limmat; le dispositif d'injection est alors arrêté automatiquement. Pour le service de



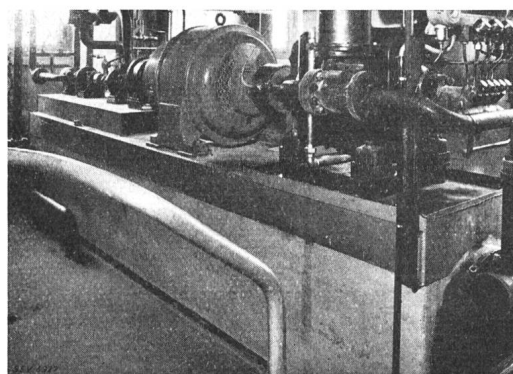
réfrigération, les quatre vannes à trois voies sont commutées — comme indiqué plus haut — de façon que l'eau de la Limmat s'écoule par le condenseur et l'eau du chauffage central par l'évaporateur.

La figure 10 montre la réalisation de ce schéma. Un moteur triphasé à rotor en court-circuit à dé-

marreur centrifuge, d'une puissance nominale de 42 kW sous 500 V, attaque par l'un de ses bouts d'arbre le compresseur à la vitesse de 580 t/min, et par l'autre un train d'engrenages pour 580/2400 t/min. Ce train d'engrenages entraîne la pompe à eau froide (8,0 l/s) et la pompe à eau chaude (3,6 l/s). A l'extrémité de l'arbre est monté un interrupteur centrifuge qui déclenche le moteur en cas de rup-



ture de l'accouplement ou de l'arbre, et au cas où la vitesse nécessaire ne serait pas atteinte pour une raison ou une autre. Ceci empêche la congélation de l'évaporateur et un trop fort accroissement de la pression dans le condenseur, par suite d'un trop faible débit d'eau froide ou d'eau chaude. Le réservoir d'expansion, d'une contenance de 4,7 m³, monté sur deux supports, est séparé hydrauliquement du condenseur et isolé; son but est de constituer une réserve d'eau chaude en cas d'arrêt accidentel de la machine, et de maintenir à une faible valeur les variations de température dues au service intermittent de la machine. L'évaporateur est logé dans le cadre soudé à l'autogène qui porte les élé-



ments des machines, l'ensemble pouvant être suspendu aux supports situés juste au-dessus. L'évaporateur et le condenseur peuvent être nettoyés par les portes ménagées dans la paroi de droite, qui permettent également de les sortir complètement d'une seule pièce. Chaque élément du groupe des ma-

chines peut d'ailleurs être changé en une demi-journée, durée amplement suffisante pour la réserve d'eau chaude du réservoir d'expansion et des tuyauteries. La figure 11 représente le groupe de machines prêt à être monté; la figure 12 montre les machines installées. Pour augmenter sa masse, l'évaporateur est entièrement enrobé de béton et repose simplement sur une plaque de liège de 5 cm d'épaisseur, sans aucune liaison rigide avec le bâtiment. De même, on a évité toute fixation des tuyauteries ou autres aux supports du récipient d'expansion et de l'accumulateur de chaleur.

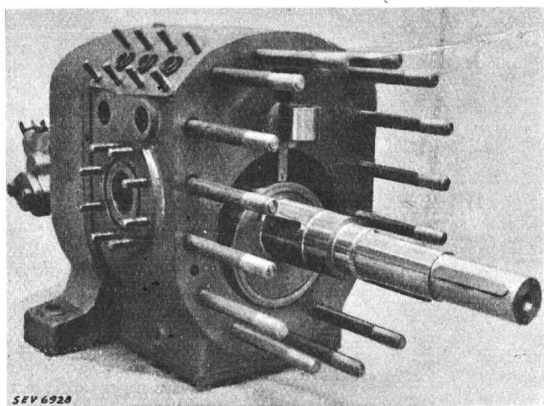
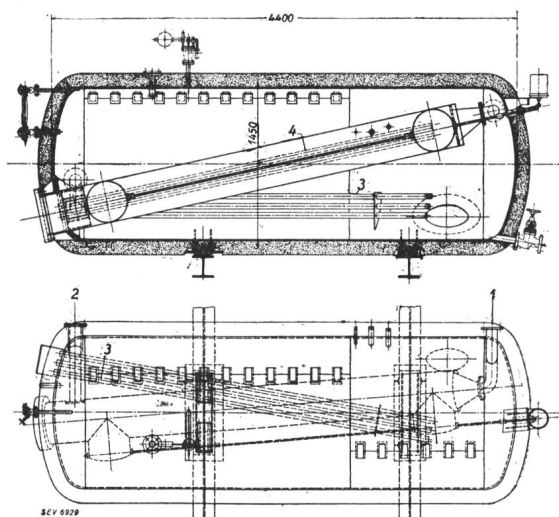


Fig. 13.
Compresseur rotatif, ouvert.

L'emploi d'un compresseur à piston ayant donné lieu à des craintes quant au bruit et aux trépidations, l'entrepreneur a exigé la livraison d'un compresseur rotatif d'un nouveau type. La figure 13 représente ce compresseur ouvert. Il est constitué essentiellement par un cylindre claveté excentriquement sur un arbre et tournant dans un alésage concentrique à l'arbre, tandis qu'un tiroir manœuvré



par deux bielles assure la séparation des chambres de pression et d'aspiration. Ce système est bien connu; l'innovation consiste dans l'emploi d'un soufflet glissé librement sur l'excentrique, dispositif qui assure par la formation d'un coussin d'huile un rendement volumétrique extrêmement favorable jus-

qu'aux pressions élevées. Trois soupapes de pression et de décharge assurent le maintien de la circulation dans le sens convenable, tandis qu'un presse-étoupe spécial empêche toute fuite de gaz le long de l'arbre. La carcasse est refroidie par circulation d'eau, et une pompe à huile à engrenages amène de l'huile sous pression aux surfaces de glissement. Ce compresseur fonctionne pratiquement sans vibrations et sans bruit.

L'accumulateur de chaleur (fig. 14) est un réservoir à haute pression d'un volume utile de 6,6 m³, prévu pour une pression de service de 10,7 kg/cm². La construction des divers accessoires tient compte de l'exigence d'un démontage facile. Ainsi, les 6 tubes de chauffe électrique sont soudés en biais dans le réservoir, afin que les corps de chauffe puissent être sortis par les portillons, et le tube de circulation est tourné vers l'axe du réservoir, afin que le registre de chauffe qu'il porte, et qui est constitué par 36 tubes de chauffe de 15 mm de diamètre, puisse être sorti par le trou d'homme. Le réservoir repose sur un palier fixe et un palier roulant; il est calorifugé par une couche de laine de scories d'une épaisseur de 15 cm. Lorsque les tubes de chauffe sont sous tension, l'eau s'échauffe, son poids spécifique diminue et elle remonte le long de la paroi la plus rapprochée des corps de chauffe, tandis que l'eau plus froide redescend le long de la paroi la plus éloignée. Si les deux vannes à papillon, qui empêchent tout retour d'eau dans le tube de circulation, sont ouvertes, l'eau contenue dans le tube s'écoule par la vanne à papillon inférieure après avoir cédé sa chaleur au registre de chauffe et par suite à l'eau du chauffage central; de l'eau chaude provenant de l'accumulateur s'écoule de la partie supérieure de celui-ci dans le tube de circulation par le papillon supérieur et fournit ainsi plus ou moins de chaleur, selon le réglage du papillon et la

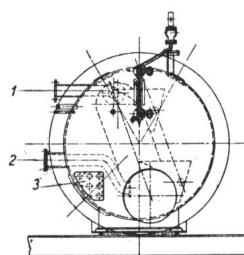


Fig. 14.
Accumulateur de chaleur, 6600 l,
10,7 kg/cm².

- 1 Arrivée de l'eau de chauffage.
- 2 Départ de l'eau de chauffage.
- 3 Six éléments de résistance électrique de chauffe.
- 4 Registre de chauffe pour l'eau de chauffage.

section de passage plus ou moins grande. Quand les papillons sont fermés, une couche de laine de scories de 7 cm d'épaisseur autour du tube de circulation empêche une transmission de chaleur par la paroi du tube. L'accumulation de chaleur est ainsi assurée sans entraver le service du chauffage. Le réservoir est muni d'un niveau d'eau et d'une soupape de sûreté, conformément aux dispositions de la loi sur les chaudières à vapeur. L'eau du chauffage central est hydrauliquement séparée de l'eau de l'accumulateur de chaleur. La fourniture de chaleur au registre de chauffe atteint 150 000 kcal/h au maximum, et la puissance électrique installée est de 65 kW. Le registre de chauffe comporte également

3 tubes de réserve pour le montage de résistances prévues pour un chauffage de secours.

Le service automatique de la thermo-pompe exige un appareillage électrique assez important, représenté schématiquement sur la figure 15. Lorsque le thermostat 6 est en position d'enclenchement,

reprend sa vitesse. Enfin, si la pression en aval de la pompe à eau froide n'atteint pas la valeur prescrite, un régulateur de pression 53 met tout d'abord en mouvement une horloge à retardement 24, puis une autre horloge 25, qui déclenche la machine et fait fonctionner une sonnerie d'alarme au cas où la pression dans la conduite d'eau froide ne se rétablirait pas.

La commande électrique de toute l'installation automatique est représentée sur la figure 16. L'eau du chauffage central sortant de la pompe de circulation à commande individuelle s'écoule vers le dispositif de chauffage, d'où elle est ramenée dans le circuit de chauffage central par le réservoir d'expansion et l'accumulateur de chaleur. La pompe à eau chaude et le compresseur sont entraînés par un moteur commun. Un thermostat 6 est monté dans la conduite d'arrivée du chauffage central;

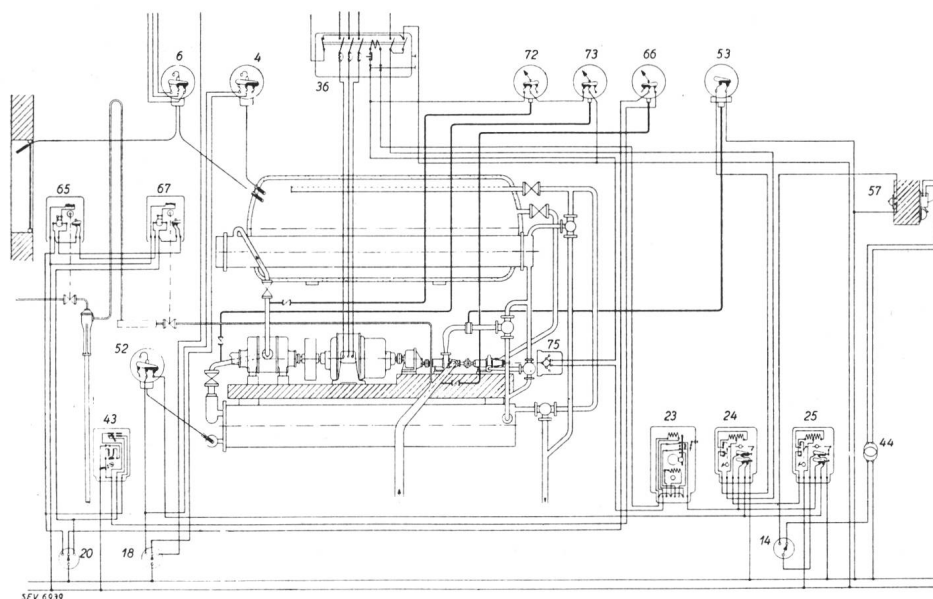


Fig. 15.

Commande électrique de la thermo-pompe.

la pompe démarre. Si la pompe à eau froide ne produit pas dans la tubulure d'aspiration d'eau de la Limmat la dépression exigée au manomètre 66, les soupapes à commande électrique 65 et 67 s'ouvrent et la minuterie 43 se met en mouvement. Au cas où la dépression nécessaire n'est pas obtenue au bout d'un certain temps, la pompe est mise hors service, car la tubulure d'aspiration est alors si peu

son réglage de la température est modifié d'une façon automatique, inversement à la température extérieure, par une sonde disposée à l'extérieur du bâtiment. Si la thermo-pompe est en service, si le clapet de retenue est ouvert par suite d'une fourniture insuffisante de chaleur et si la consommation de chaleur diminue, le contact basculant à mercure shunte les contacts 1 et 3, et met en mouvement l'horloge à retardement 39. Au bout de 5 minutes, cette horloge fait fonctionner l'horloge à impulsions 40, qui émet toutes les 40 secondes une impulsion de courant d'une durée de 3 secondes sur la commande des papillons 51 qui sont ainsi fermés peu à peu par à-coups, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli entre la consommation et la fourniture de chaleur. Si le mouvement des papillons se poursuit jusqu'à la fermeture complète, l'interrupteur de fin de course provoque le renversement du commutateur de la thermo-pompe logé dans l'horloge à retardement 39 et déclenche le contacteur du compresseur. Il en résulte une baisse de la température de l'eau du chauffage central et la fermeture du contact basculant à mercure entre 1 et 2. La thermo-pompe et l'horloge à retardement 39 sont alors réenclenchées. Si la quantité de chaleur débitée par la pompe n'est pas encore suffisante au bout de 40 minutes, l'horloge à impulsions 40 réenclenche les résistances électriques de l'accumulateur de chaleur. Les papillons sont alors ouverts peu à peu par à-coups aux intervalles indiqués, jusqu'à ce que l'équilibre entre la fourniture et la consommation de chaleur soit rétabli. Les deux échelons des résistances de chauffe sont verrouillés électriquement, de telle sorte que seul l'échelon de

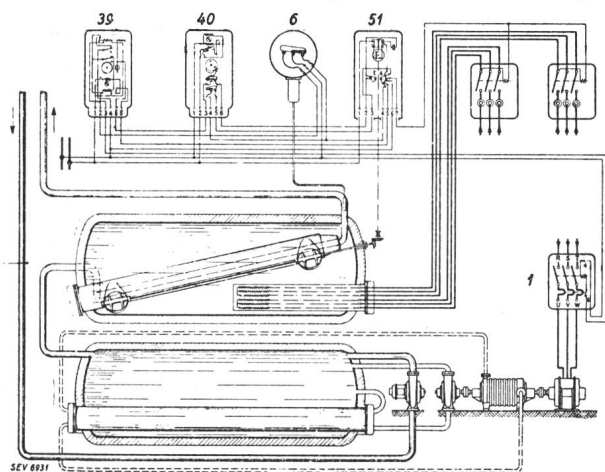


Fig. 16.

Réglage de la température de l'installation.

- | | |
|---|------------------------------------|
| 6 Thermostat à contacts basculants à mercure. | 40 Horloge à impulsions. |
| 39 Horloge à retardement. | 51 Commande des vannes à papillon. |
| | 1 Contacteur du compresseur. |

étanche, que l'injecteur ne peut plus aspirer tout l'air qui y pénètre. Si c'est la vitesse de la machine qui diminue, l'interrupteur centrifuge 75 met la minuterie 23 en mouvement, qui déclenche alors la machine après une demi-minute, si celle-ci n'a pas

30 kW soit enclenché lorsque le compresseur fonctionne, tandis que l'échelon de 65 kW est enclenché quand le compresseur est arrêté. En enclenchant l'interrupteur manuel de l'accumulateur, les résistances sont mises sous tension, même sans que les papillons aient besoin d'être ouverts par le thermostat 6.

Les résultats d'exploitation d'une telle installation de démonstration offrent un intérêt évident, car non seulement ils fournissent des données utiles au développement futur, mais ils réfutent d'une façon péremptoire les objections erronées qui sont parfois émises au sujet de la thermo-pompe pour défendre certains intérêts. Dans ce but, l'installation de l'Hôtel de ville de Zurich a été équipée d'un dispositif enregistreur continu du bilan thermique, selon la figure 17. Ce dispositif comporte un enregistreur sextuple, qui inscrit toutes les 30 secondes la puissance électrique aux bornes de la thermo-pompe, ainsi que le débit d'eau du chauffage central en amont et en aval de la thermo-pompe. Il inscrit

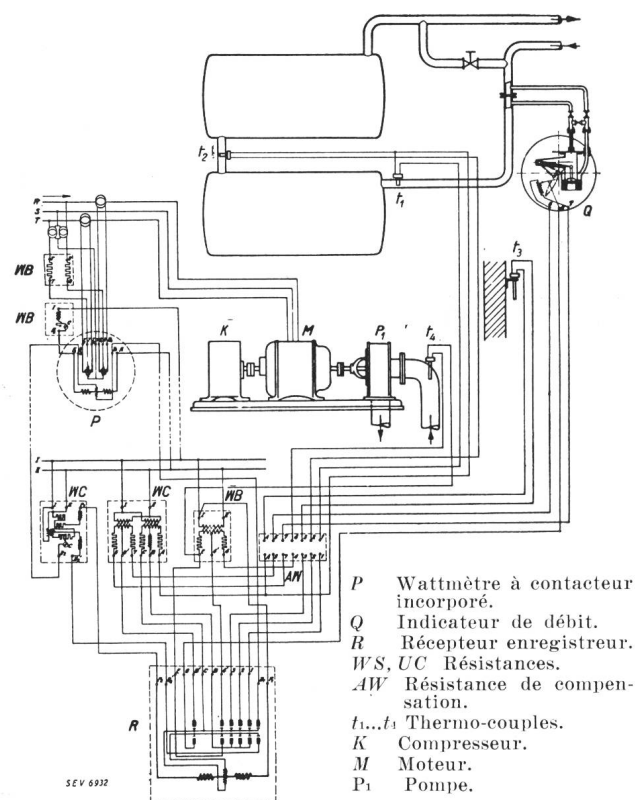


Fig. 17.

Dispositif enregistreur du bilan thermique (mesure de la température, de la puissance et du débit d'eau).

également la température extérieure et la température de l'eau de la Limmat à son entrée dans la pompe à eau froide. Ces résultats de mesures seront publiés périodiquement. La mesure du débit d'eau se fait par un disque étalonné avec manomètre, qui fait varier une résistance électrique par un jeu de leviers; les variations de tension qui en résultent sont inscrites sur la bande enregistreuse, où elles marquent directement le débit d'eau. La puissance électrique est indiquée par un wattmètre et transmise à l'instrument enregistreur par un circuit dé-

rivé. La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre à résistances. La commande de l'instrument enregistreur a été prévue avec remontage à main, afin que le contrôle de l'instrument soit assuré par le concierge de l'Hôtel de ville, quand il remonte périodiquement le mouvement d'horlogerie. Le dispositif de mesure fonctionne sous une tension de 6 V. Les divers instruments de mesure sont étalonnés de temps à autre; le compteur de débit d'eau a été livré avec feuille d'étalonnage. Ce dispositif de mesure permet donc non seulement de constater la puissance, à intervalles quelconques et avec une précision suffisante, mais d'analyser également les diverses caractéristiques de l'exploitation.

Les diagrammes fournis par cet appareillage de mesure présentent la forme indiquée sur la figure 18. Leur lecture se fait à l'aide des échelles prévues à cet effet. Pour la durée de mesure représentée sur la figure, le débit d'eau Q a été maintenu constant; ce débit ne varie d'ailleurs qu'à l'ouverture ou à la fermeture de vannes de distribution ou de radiateurs. La température t_3 a lentement baissé vers le matin, mais a notablement augmenté vers midi. On remarque nettement les durées de marche périodiques du moteur, complétées par la succession rectiligne de points sur la ligne des zéros, dans les espaces intermédiaires. Les courbes t_1 et t_2 indiquent les températures d'amenée et de sortie de l'eau du chauffage central; à un endroit, on peut distinguer le pompage dû à l'intermittence du service. La température de l'eau de la Limmat t_4 est

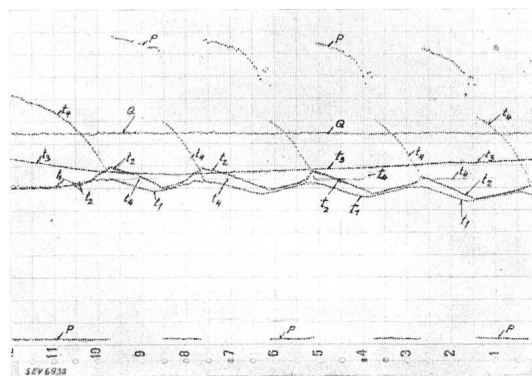


Fig. 18.

Diagramme de l'appareil enregistreur (l'original est en 6 couleurs).

Q Débit d'eau du chauffage central.
 P Puissance du moteur.
 t_1 Température au départ.
 t_2 Température au retour.
 t_3 Température extérieure.
 t_4 Température de l'eau de la rivière.

naturellement constante sur tout le diagramme de la figure. Les pointes dans les intervalles de service de la thermo-pompe sont dues au fait que la chaleur du local des machines chauffe l'eau de la tubulure d'aspiration, dans laquelle est logé l'élément de mesure, lorsque la pompe est arrêtée. La théorie selon laquelle la puissance de commande augmente avec la différence entre la température de l'eau du chauffage central et celle de l'eau du cours d'eau est nettement confirmée par le diagramme de la puissance du moteur. La dispersion des points de me-

sure de ce diagramme au début de chaque période de fonctionnement provient en partie de l'augmentation de la fourniture de chaleur de l'évaporateur due à l'accumulation de chaleur dans les éléments de la machine, et en partie de l'accumulation de vapeur de fréon dans l'évaporateur. L'augmentation et la diminution de la température moyenne de l'eau du chauffage central est également visible en fonction de la température extérieure. Les échelles correspondantes ne figurent pas sur ce diagramme, car la mise au point du dispositif de mesure n'était pas encore terminée à l'époque où ce diagramme fut enregistré. La saison d'hiver, qui aurait permis d'effectuer des mesures quantitatives, étant presque terminée, on a dû se borner à relever des mesures qualitatives. L'examen des résultats obtenus sera traité ultérieurement d'une façon plus détaillée.

Le schéma des connexions du tableau est indiqué sur la figure 19; il comporte 3 panneaux. Le pre-

mier panneau porte les appareils généraux commandés ou contrôlés de l'extérieur, le second les appareils de commande et les appareils de mesure du bilan thermique de l'installation de la thermo-pompe et de l'accumulateur de chaleur, le troisième les instruments électriques de mesure de la thermo-pompe et de l'installation d'accumulation. Au bas du tableau sont disposés les coupe-circuit du réseau et, à l'arrière, les divers appareils.

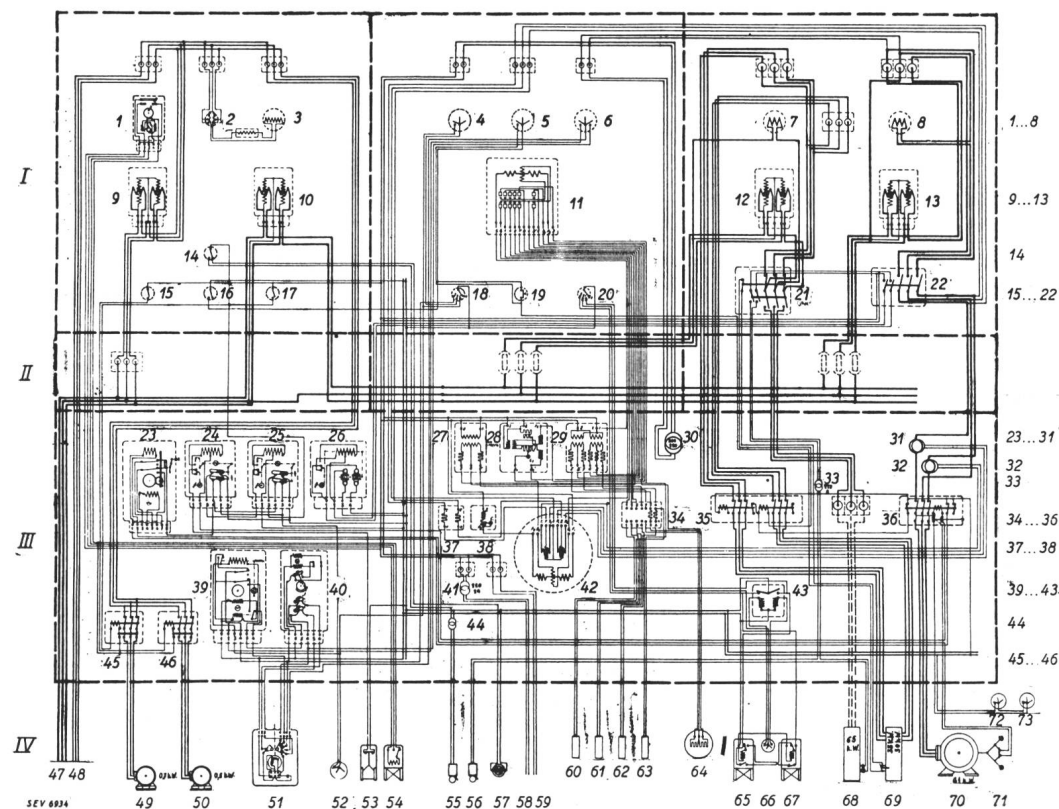


Fig. 19.

Schéma complet des connexions.

I Appareils installés sur le devant du tableau.

II Barres omnibus et coffrets de coupe-circuit.

III Appareils installés derrière le tableau.

IV Appareils installés hors du tableau.

mier panneau porte les appareils généraux commandés ou contrôlés de l'extérieur, le second les appareils de commande et les appareils de mesure du bilan thermique de l'installation de la thermo-pompe et de l'accumulateur de chaleur, le troisième les instruments électriques de mesure de la thermo-pompe et de l'installation d'accumulation. Au bas du tableau sont disposés les coupe-circuit du réseau et, à l'arrière, les divers appareils.

1 est un conjoncteur-disjoncteur horaire qui commande la vanne du distributeur de chaleur aux bureaux pendant les heures d'ouverture, cette amenée étant supprimée le reste du temps. 2 est le commutateur pour la mesure des trois phases du réseau triphasé à 500 V et 3 le voltmètre correspondant. 9 est le compteur général qui mesure la puissance absorbée

thermostats sont des instruments commandés à distance avec bulbe sensible et tube capillaire. Au centre du panneau se trouve l'instrument enregistreur 11, qui se bloque quand la fenêtre est ouverte. L'interrupteur 18 possède quatre positions de service: Chauffage automatique, Réfrigération automatique, Fonctionnement de la thermo-pompe sans les thermostats et Position zéro. La machine fonctionne sans les appareils de contrôle lorsqu'un thermostat provoque une perturbation dans la commande automatique et que sa réparation exigerait une trop longue interruption de la fourniture de chaleur. Le bouton-poussoir 19 permet de mettre en route la thermo-pompe, quand l'un des thermostats est en position de déclenchement. L'interrupteur 20 sert à enclencher et à déclencher les soupapes à commande électrique 65 et 67 de l'installation d'injection, en shuntant les interrupteurs à retardement; le vacuummètre agit dans ce cas comme déclencheur à verrouillage. 7 est l'ampèremètre du chauffage de

l'accumulateur de chaleur et 18 celui de la thermo-pompe. 12 est le compteur pour le chauffage de l'accumulateur et 13 celui de la thermo-pompe. 21 est un inverseur pour l'accumulateur de chaleur, qui permet d'enclencher un chauffage de secours 88, en cas d'arrêt complet de la commande électrique. Il permet en outre de maintenir la fourniture de chaleur au cas où les vannes à papillon de l'accumulateur seraient fermées, sans chauffage de l'eau de l'accumulateur, provoquant ainsi une perte de temps d'au moins deux heures avant que la chaleur puisse être à nouveau cédée à l'eau du chauffage central. Une sonnerie d'alarme fonctionne quand le moment est venu de déclencher le chauffage de secours. 22 est l'interrupteur à main de la thermo-pompe. Un thermostat de sûreté 52 déclenche la thermo-pompe avant que la température de congélation de l'évaporateur soit atteinte, tandis que l'interrupteur 53 met en service le dispositif d'injection lorsque la tubulure d'aspiration de l'eau de la Limmat est vide. 72 et 73 sont des manomètres à contacts, qui déclenchent la thermo-pompe au cas où les pressions du fréon atteindraient une valeur indésirable.

Ce tableau est visible sur la figure 20. En haut se trouvent divers thermomètres qui signalent les températures de l'eau du chauffage central, de l'eau de la Limmat en amont et en aval du condenseur, du fréon, de l'eau de l'accumulateur de chaleur, ainsi qu'un manomètre pour la tubulure d'aspiration de l'eau de la Limmat et un autre manomètre pour l'accumulateur de chaleur. En-dessous se trouvent les fusibles pour les divers circuits. Puis viennent, dans le premier panneau, le conjoncteur-disjoncteur horaire et le voltmètre avec son commutateur, ainsi que deux compteurs et divers commutateurs encastrés. Dans le panneau central se trouvent, de droite à gauche, le thermostat de chauffage, le thermostat de l'accumulateur et le thermostat de réfrigération; au-dessus d'eux se trouvent l'en-

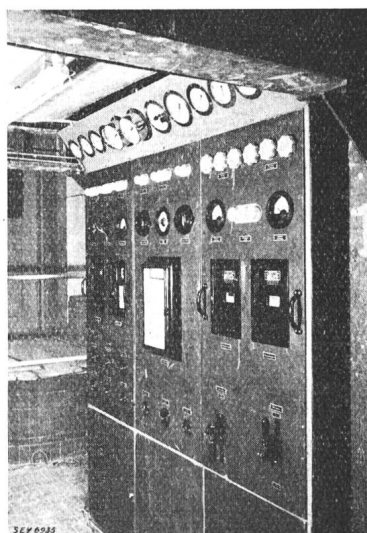


Fig. 20.

Vue du tableau.

registreur sextuple et trois autres commutateurs. Dans le troisième panneau sont disposés deux ampèremètres et, au-dessous, les compteurs de la thermo-pompe et de l'accumulateur, ainsi que les deux interrupteurs à main. La plaque frontale du premier panneau forme une porte s'ouvrant à l'extérieur, qui bloque les instruments de mesure lorsqu'elle est ouverte; les poignées des commutateurs sont fixées par contre à la boîte encastrée et se détachent des corps d'interrupteurs. Les connexions qui les relient sont prévues de telle sorte que les

poignées rotatives rentrent automatiquement dans les accouplements des interrupteurs lorsqu'on ferme le tableau; ces poignées ne peuvent donc pas rester dans une position incorrecte. Le panneau central est fixe, tandis que le devant du troisième panneau peut également être ouvert à l'extérieur, après l'avoir tiré à soi parallèlement et avoir dévissé les

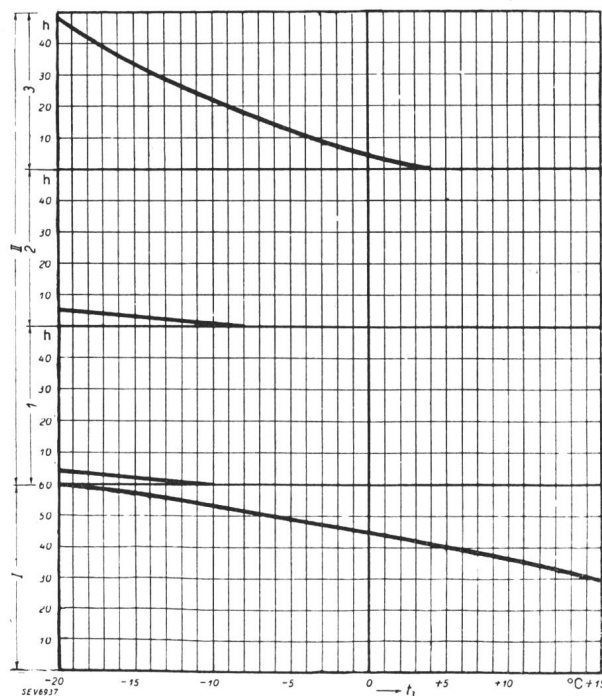


Fig. 21.

Programme de chauffage pour température des locaux de 18°C et pour différentes températures extérieures t_a .

- I Détermination de la température d'entrée.
- II Durée de charge de l'accumulateur de chaleur.
- 1 Salle des fêtes.
- 2 Salle du Conseil d'Etat.
- 3 Salle du Grand-Conseil.

poignées des interrupteurs à main. En bas sont disposés les portillons donnant accès aux coupe-circuit principaux.

La figure 21 indique le programme de chauffage. La courbe de la température au départ de l'eau du chauffage central est maintenue automatiquement en fonction de la température extérieure; elle n'est relevée qu'à titre de contrôle. En haut de la figure sont indiquées les durées d'enclenchement de l'accumulateur de chaleur pour diverses utilisations des salles, en fonction de la température extérieure.

Frais d'aménagement et d'exploitation.

Cet aperçu serait incomplet si l'on ne donnait pas quelques détails sur les frais. Le développement de ce mode de chauffage étant très récent, une année et demie à peine, il va de soi que l'on ne peut pas encore en tirer des conclusions définitives. Une comparaison entre les frais d'installation d'un chauffage au charbon, au mazout ou au gaz et ceux de la thermo-pompe de l'Hôtel de ville de Zurich n'est pas possible et pourrait même induire en erreur, car une installation de démonstration et d'essai diffère essentiellement d'une installation normale. Il

fallait en effet prendre toutes sortes de mesures de sûreté et de secours, afin de pouvoir parer à toutes les éventualités du service de cette première installation, d'autant plus qu'il s'agit d'un bâtiment de très grande importance. Ces mesures de précaution ont évidemment une grande influence sur les frais d'installation. On a néanmoins cherché à représenter sur la figure 22 l'ordre de grandeur des frais d'installation, défalcation faite de toutes ces dispo-

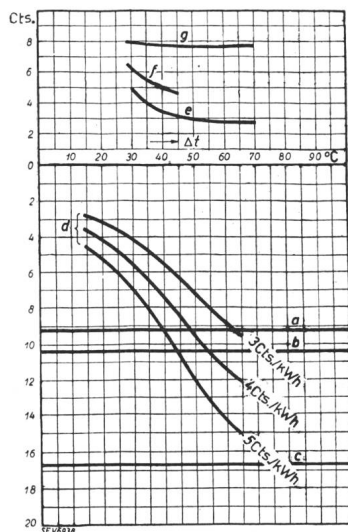


Fig. 22.

Frais d'installation (en haut) et frais d'exploitation (en bas), en cts./Meal/jour, pour une installation de 200 Meal à amortir en 10 ans.

Δt Différence entre la température à l'entrée et la température des locaux.

Frais d'exploitation:

- a Coke frs. 8,40/100 kg, $\eta = 70\%$.
- b Mazout frs. 15.—/100 kg, $\eta = 80\%$.
- c Chauffage par résistance 3 cts./kWh.
- d Chauffage par radiateurs, avec thermo-pompe.

Frais d'installation:

- e Chauffage par radiateurs, avec thermo-pompe.
- f Chauffage par rayonnement, avec thermo-pompe et couverture des pointes.
- g Chauffage par air chaud, avec thermo-pompe et couverture des pointes.

sitions spéciales. Ce diagramme indique, d'une part, les frais d'installation et, d'autre part, les frais d'exploitation, en fonction de la différence des températures maxima des radiateurs et des locaux, dont dépend dans une large mesure le service de la thermo-

pompe, comme il est dit plus haut. La courbe *e* indique la variation des frais d'installation en fonction de cette différence de température, pour un chauffage au charbon par radiateurs. Plus la température d'entrée est basse, plus les radiateurs et les tuyauteries doivent être de grandes dimensions. Le rapport dans lequel ces parties de l'installation de chauffage varient est parfaitement connu, ainsi que l'allure de la courbe. Par contre, les conditions sont bien moins connues dans le cas du chauffage par rayonnement, car ce système est plus récent. On peut toutefois être certain qu'un abaissement de la température de l'eau de chauffage conduit à une augmentation de la longueur des tubes du registre de chauffe. Pour le chauffage par air chaud, seuls le réchauffeur d'air et les tuyauteries d'eau se modifient avec la température de l'eau de chauffage; ces parties ne constituent toutefois qu'une faible part des frais d'installation de ce système de chauffage. Les frais d'exploitation ont été reportés en-dessous de la ligne du zéro. On constate immédiatement que les frais d'installation ont une importance secondaire par rapport aux frais d'exploitation. Il est donc indifférent que l'installation soit plus ou moins chère; l'essentiel est un fonctionnement bon marché. Cette partie du diagramme prouve donc que les frais d'exploitation d'une installation de thermo-pompe sont du même ordre que ceux des autres systèmes de chauffage, car les prix admissibles du kWh peuvent être parfaitement supportés par les producteurs d'électricité. Comme il vient d'être dit, ces courbes et ces valeurs ne doivent être considérées pour l'instant qu'au point de vue qualitatif; elles feront ultérieurement l'objet d'une étude plus détaillée.

Il est encore trop tôt pour publier des résultats de service et d'expériences, car cette installation n'est entrée en service que vers la fin de cet hiver. C'est toutefois un fait acquis, que les mesures effectuées confirment l'exactitude des calculs, établis avec toute la précision qu'exige une entreprise de ce genre. Cette installation a suscité un vif intérêt et l'espoir que ce système de chauffage pourrait concurrencer les autres systèmes, aussi bien au point de vue des frais d'installation qu'à celui des frais d'exploitation, a même été largement dépassé. De plus amples détails seront fournis ultérieurement.

Ueber die Messung der Einzelverluste bei Mutator-Transformatoren.¹⁾

Von J. Kübler, Baden.

621.317.384 : 621.314.21 : 621.314.6

Die Ströme in den Mutator-Transformatoren weichen von der Sinusform ab. Die Messung der Verluste dieser Transformatoren wäre deshalb im allgemeinen nur vollkommen einwandfrei, wenn Transformator und Mutator zusammengeschaltet und die ganze Gruppe betriebsmässig voll belastet würde. Diese Messart aber ist aus bekannten Gründen nicht sehr genau. Zudem ist sie häufig nicht ausführbar, so dass man die Einzelverluste des Transformators, unter Umständen zusammen mit denjenigen des Mutators, bestimmen muss. Es werden verschiedene Arten der Messung der Einzelver-

Les courants des transformateurs de mutateurs diffèrent de la forme sinusoïdale. La mesure des pertes de ces transformateurs ne serait en général absolument correcte qu'à si le transformateur et le mutateur étaient accouplés et si le groupe fonctionnait à pleine charge de service.

Cependant, pour des raisons connues, ce mode de mesure n'est pas très exact. En outre, on ne peut souvent pas l'appliquer, de sorte que l'on en est réduit à déterminer séparément les pertes du transformateur et du mutateur. L'auteur discute plusieurs méthodes de mesure des pertes, en parti-

¹⁾ Mit diesem Artikel ist beabsichtigt, einen Beitrag zur Klärung der Aufstellung von Regeln der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) für Messung der Einzelverluste bei Transformatoren, welche für den Betrieb von Mutatoren bestimmt sind, zu leisten.