

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 87 (1961)
Heft: 14: Ventilation et climatisation

Artikel: La climatisation du Kunsthaus de Zurich
Autor: Häusler, Walther
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-65033>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.04.2025

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

LA CLIMATISATION DU KUNSTHAUS DE ZURICH ¹

par M. Walther HÄUSLER, ingénieur SIA, Zurich

1. Données préliminaires

La salle d'exposition du Kunsthaus de Zurich (*fig. 1*), d'une longueur de 70 m et d'une largeur de 18 m, constitue l'élément principal de la récente extension de ce bâtiment, terminée en 1958 sous la direction des architectes *Pfister frères*, de Zurich. Le plafond, construit en matière translucide, présente une surface de 1260 m²; les vitrages latéraux occupent une surface de 168 m².

On conçoit dès lors que, sous l'effet du rayonnement solaire, une très grande quantité de chaleur peut pénétrer dans la salle, celle-ci se transformant pratiquement en serre. De telles circonstances, qui interdiraient l'utilisation de la salle aussi bien pendant certains jours d'entre-saison qu'en été, ont conduit la commission des travaux à en recommander la climatisation, proposition qui a reçu l'approbation du donateur, M. E. G. Buhrle.

Les installations de climatisation ont été mises en service dès le début de l'été 1958; elles desservent la salle des expositions, ainsi qu'une salle des conférences située au rez-de-chaussée et d'une surface d'environ 380 m² (*fig. 2*). Ces installations, qui créent des conditions d'ambiance agréables pour les visiteurs, contribuent également à protéger les objets exposés des variations de température et d'humidité.

Dans la salle des conférences, conçue pour des représentations théâtrales, des conférences et autres manifestations, et qui présentent des taux d'occupation for-

tement variables, la climatisation a pour objet d'introduire de l'air judicieusement conditionné, d'évacuer l'air vicié et d'assurer le confort que requiert un séjour prolongé.

Cette extension du Kunsthaus comprend également un restaurant avec cuisine, situé au sous-sol, et dont la réalisation est due à M. R. Zürcher, architecte à Zurich. Tant le restaurant que la cuisine sont pourvus d'installations de ventilation particulièrement puissantes, ceci non seulement pour des raisons d'hygiène à l'intérieur de ces locaux, mais également pour éviter la propagation d'odeurs dans la salle des expositions et la salle des conférences.

2. Charges frigorifiques

Le problème principal résidait dans l'évaluation de la charge frigorifique à couvrir pour la salle des expositions. Comme déjà dit, le plafond et le toit de cette dernière se composent de couches translucides, si bien qu'il faut s'attendre à un très fort apport de chaleur par rayonnement solaire. Les conditions réelles furent mises en évidence grâce à une analyse exacte des énergies rayonnées, des coefficients de passage ainsi que des conditions

¹ Cet article a paru dans le n° 19 1959 de la *Schweizerische Bauzeitung* sous le titre « Die Klimatisierung des Zürcher Kunsthauses » et nous remercions la direction de cette revue des facilités qu'elle nous a accordées.

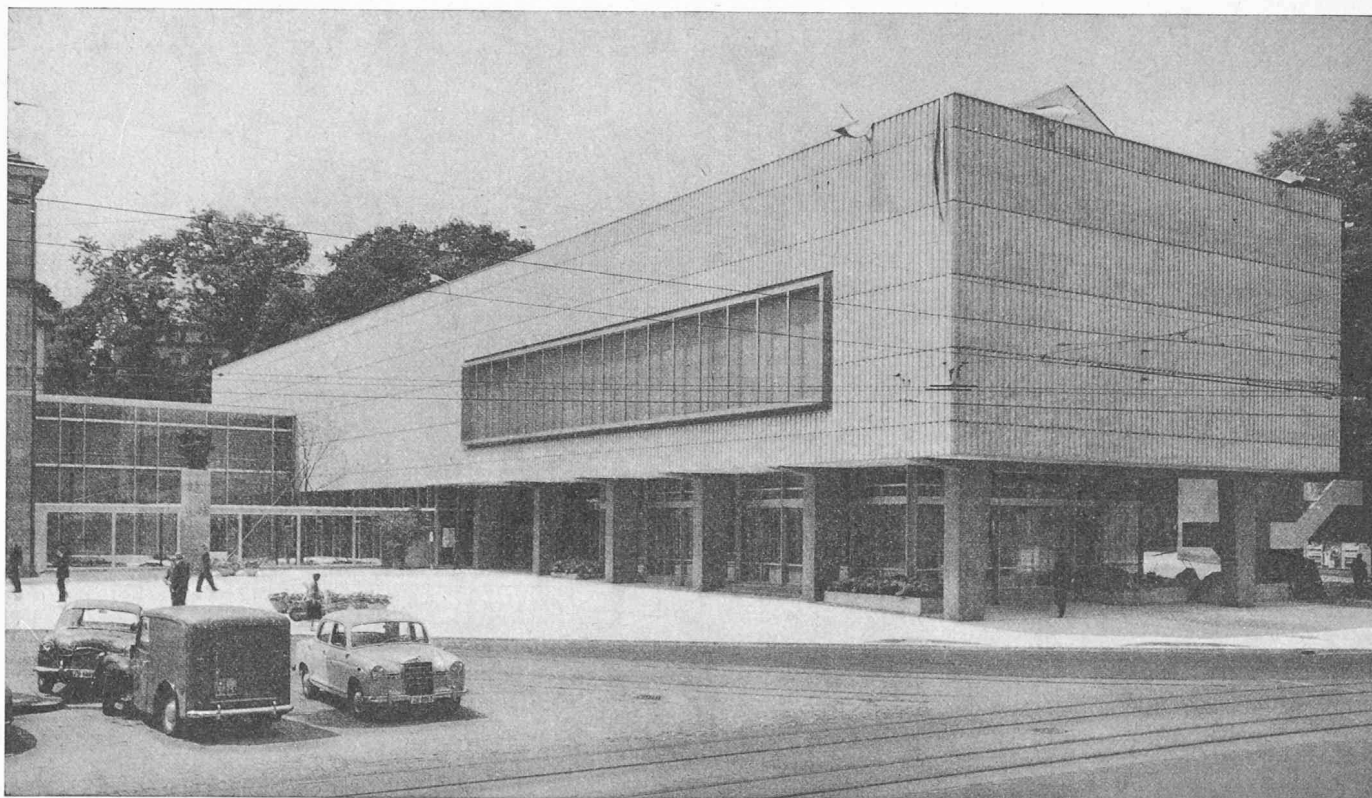


Fig. 1. — Vue du nord-est de la nouvelle annexe du Kunsthaus de Zurich.

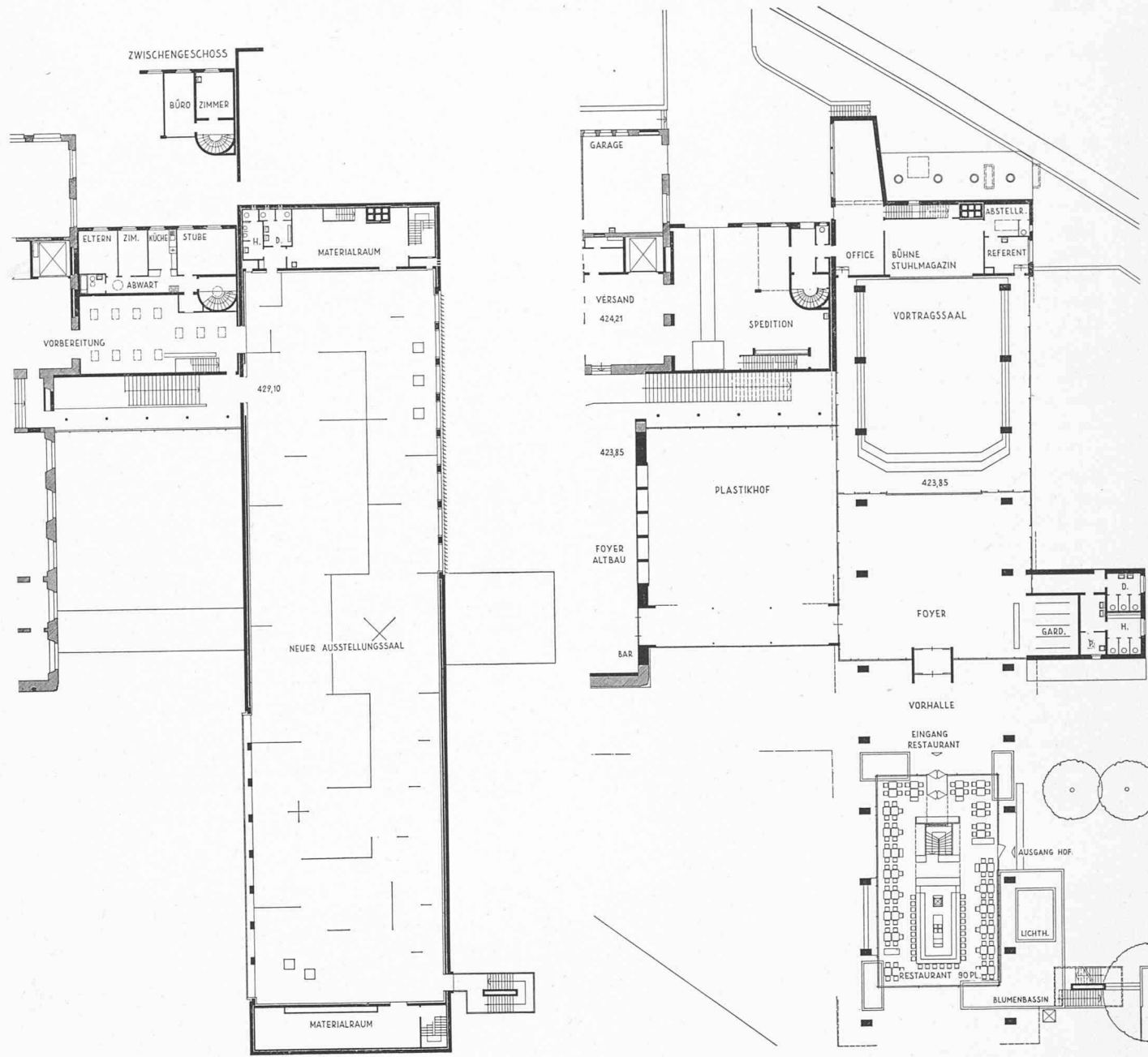
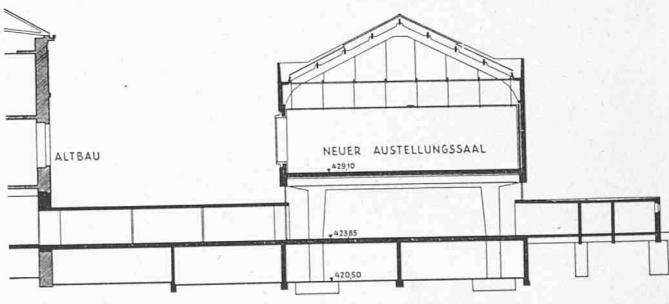


Fig. 2. — Plans et coupe 1 : 600.
 En haut : la salle des expositions (au rez-de-chaussée).
 A droite : le sous-sol.

d'émission et de réflexion des différentes couches. Alors qu'il n'existe pratiquement aucun document à ce sujet en Europe, les Laboratoires de recherches de l'*American Society of Air Conditioning and Heating Eng.*, de même que des universités des Etats-Unis, se sont livrés à de nombreuses études dans ce domaine et en ont publié les résultats, l'auteur ayant eu l'occasion d'en prendre connaissance. Finalement, le rayonnement solaire a pu être évalué avec une bonne sécurité sur la base des connaissances disponibles ainsi que de la situation géographique et topographique.

La toiture translucide (fig. 3 et 4) de la salle des expositions comporte un plafond en Plexiglas strié dépoli, reposant sur un grillage en matière plastique



blanche, ainsi qu'un toit en verre armé. Le vide de toiture (entre le plafond et le toit), dont les parois et les porteurs sont peints en blanc, est doté d'une ventilation mécanique.

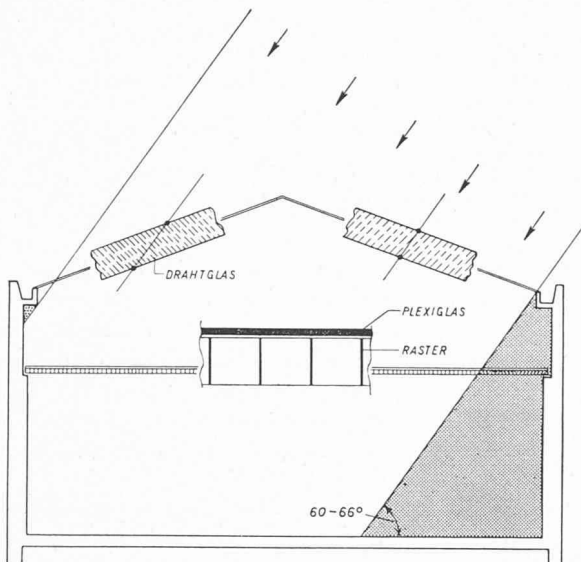


Fig. 3a. — Représentation schématique de la couverture translucide de la salle.

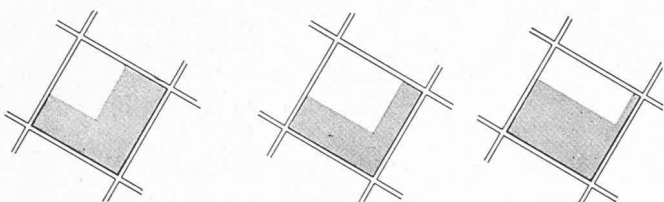


Fig. 3b. — Effets d'ombre, pour différentes positions du soleil, des grilles couvrant le plafond de la salle. La position du soleil est définie par $A - \varphi + \delta$ (équateur).
 φ = latitude (pour Zurich, $46^{\circ} 23'$).
 δ = déclinaison ($23^{\circ} 27'$ à 12 heures).

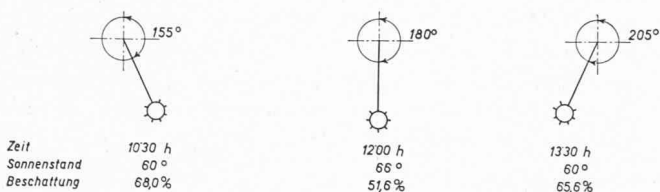


Fig. 4. — Position du soleil par rapport au bâtiment (hauteur et azimut) et coefficient d'ombre.

Toutes les faces intérieures du bâtiment ainsi que les parois intérieures mobiles sont traitées en gris clair, le sol étant recouvert d'un tapis gris.

Etant donné la situation de la salle d'exposition, l'apport thermique maximum en plein été et par ciel clair se situe entre 10 h 30 et 13 h 30, et s'étend ainsi sur une période de 3 heures.

On dispose du tableau suivant :

Heure	Élévation solaire (degrés)	Azimut solaire (degrés)
10 h. 30	60	155
12 h.	66	180
13 h. 30	60	205

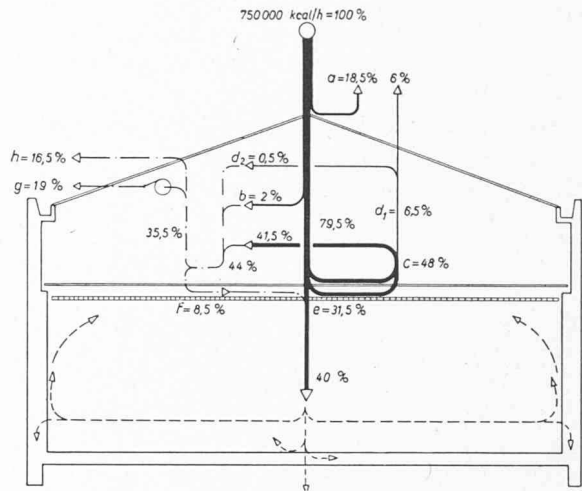


Fig. 5. — Bilan schématique de la chaleur irradiée.

- a Réflexion (18,5 %) de la couverture extérieure et pénétration (81,5 %) des rayons solaires à travers les pans de toiture.
- b Echappement par rayonnement direct à travers les parois du vide de toiture (2 %).
- c Rayonnement et convection du grillage translucide en direction du vide de toiture. De cette quantité sont rayonnées les valeurs suivantes :
 - d_1 (6,5 %) vers la toiture ;
 - d_2 (0,5 %) vers les parois du vide de toiture.
- e Pénétration dans la salle par rayonnement (31,5 %).
- f Pénétration dans la salle par transmission (8,5 %).
- g Evacuation directe vers l'extérieur par la ventilation mécanique entretenue dans le vide de toiture (19 %).
- h Renvoi vers l'extérieur par transmission à travers le toit et les parois (16,5 %).

Dans ces conditions, l'apport total théorique de chaleur par rayonnement se situe aux environs de 750 000 kcal/h, compte tenu de l'inclinaison du toit.

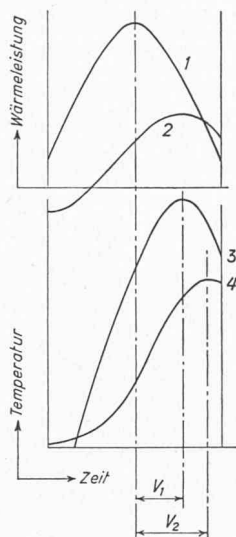
Bien entendu, grâce aux phénomènes de réflexion et d'absorption, et grâce aussi à l'évacuation par le vide de toiture de la chaleur de convection, une partie seulement de cette quantité doit être éliminée par l'installation de climatisation, et ceci dans la proportion de 40 %. Les phénomènes physiques en jeu, ainsi que la répartition du flux solaire sont représentés à la figure 5. Ce schéma permet de constater en outre que la quantité de chaleur rayonnée dans la salle ne provoque pas une augmentation instantanée de la température d'ambiance, mais contribue d'abord à l'échauffement des surfaces délimitant la salle, c'est-à-dire avant tout le sol, les parois ainsi que les objets situés dans la salle. Ce n'est qu'ensuite que l'air ambiant est réchauffé par ces parois, par contact et convection. L'élévation maximale de la température ambiante se manifeste ainsi avec un certain retard par rapport au plus grand flux solaire, les courbes de température des surfaces enveloppantes et de l'air ambiant présentant une allure plus plate (fig. 6).

L'apport thermique de la salle, qui vaut donc 300 000 kcal/h (40 % de 750 000 kcal/h), n'est pas encore identique à la charge frigorifique à couvrir et ne représente à vrai dire qu'une valeur de pointe du rayonnement. Pour obtenir la charge frigorifique moyenne, il faut étudier les processus de transmission et d'accumulation de chaleur et les déterminer quantitativement. Cette étude montre que la charge moyenne à couvrir vaut environ 70 % de la valeur de pointe, c'est-à-dire ici environ 210 000 kcal/h. A cette valeur s'ajoutent encore les apports thermiques par les vitrages,

l'échauffement de la maçonnerie, ainsi que les apports thermiques des visiteurs. Dans ces conditions, la charge frigorifique sensible atteint le total de 280 000 kcal/h environ.

Notons encore que les efforts déployés par les architectes pour obtenir les meilleures conditions d'éclairage tout en réduisant les effets de rayonnement dans la salle, ont été couronnés de succès.

Fig. 6. — Relation fondamentale entre la chaleur irradiée (courbe 1) et la charge frigorifique (courbe 2) pour un local muni d'un jour zénithal. En dessous, la variation correspondante de la température du sol pour une construction légère (courbe 3) et pour une construction massive (courbe 4). V_1 et V_2 figurent les déphasages des maxima.



3. Les installations de climatisation

L'installation de climatisation choisie fonctionne selon un processus entièrement automatique, avec refroidissement indirect et réglage électronique de la température et de l'humidité. Le projet et la réalisation de toutes ces installations, qui comprennent la centrale frigorifique, les agrégats de climatisation préfabriqués, ainsi que les panneaux de commande (fig. 7b), sont l'œuvre de la maison Walter Häusler & Co., à Zurich.

Si l'installation est centralisée quant à la production calorifique et frigorifique, elle est par contre décentralisée quant à l'air. Deux agrégats de climatisation desservent la salle des expositions et un troisième la salle de conférences. Les centrales frigorifiques et calorifiques sont situées l'une à côté de l'autre en sous-sol, l'agrégat de climatisation pour la salle de conférence est logé dans le faux plafond, à côté de la scène, et les agrégats pour la salle des expositions sont disposés dans le vide de toiture.

Les conditions climatiques ayant présidé au dimensionnement de l'installation de climatisation étaient les suivantes :

Conditions d'hiver :

Température dans la salle des expositions	16°C
Chauffage de base ¹ (rayonnement par sol) assurant une température intérieure de	8°C
Température dans la salle des conférences	18°C
Chauffage de base (rayonnement par sol) assurant une température de	5°C
Humidité relative maximum dans les deux salles	40 %

¹ Cette valeur, qui était primitivement de 10°C, a dû être ultérieurement abaissée, en raison de la présence du tapis.

Conditions d'été :

Température dans la salle des expositions ²	22 à 28°C
Température dans la salle des conférences ²	22 à 26°C
Humidité relative maximum dans les deux salles	50 %
Apport d'air frais minimum dans la salle des expositions	20 %
Apport d'air frais dans la salle des conférences, variable jusqu'à	100 %

Deux unités frigorifiques assurent le refroidissement de l'air ; elles comportent chacune un compresseur rapide à 6 cyl. radiaux, directement accouplé à un moteur à démarreur centrifuge et muni d'un condenseur à refroidissement par eau. La puissance peut être ajustée à 80, 70, 50, 40, 30 % par court-circuitage des cylindres (blocage des soupapes d'aspiration en position ouverte).

Comme ces deux unités sont équipées chacune du même système de réglage de puissance, on dispose ainsi en tout de douze paliers, l'ajustement se produisant de manière automatique. Les deux unités sont reliées à un évaporateur commun dans lequel l'eau est refroidie. Le condenseur est alimenté en fluide frigorigène (Fréon F 22) par l'intermédiaire d'une soupape d'expansion, une pompe assurant la circulation d'eau glacée. La puissance frigorifique totale est de 330 000 kcal/h, la puissance du moteur de chacune des deux unités frigorifiques étant de 55 ch, le régime de 1440 t/min, le débit d'eau glacée de 70 m³/h, la puissance du circulateur de 5 ch.

L'utilisation de la salle des expositions et de la salle des conférences n'intervenant pratiquement jamais simultanément, il n'est pas nécessaire, pour le dimensionnement de la centrale frigorifique, de tenir compte de la charge frigorifique de la salle des conférences.

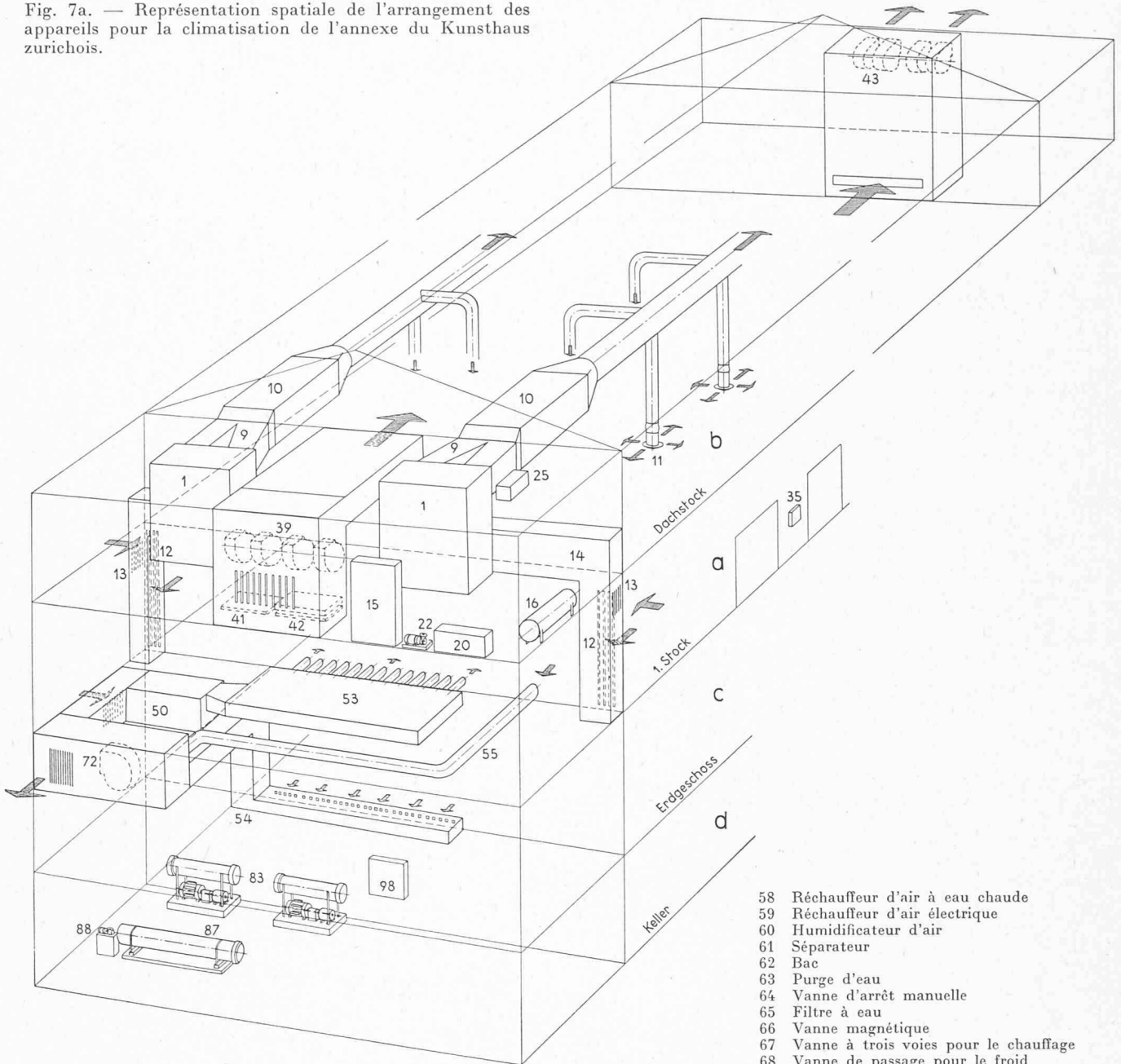
La climatisation de la salle des expositions est assurée par deux agrégats verticaux entièrement préfabriqués (fig. 9), comportant un filtre à air, un refroidisseur d'air à eau, un réchauffeur d'air à eau chaude, un humidificateur évaporateur, ainsi que des ventilateurs centrifuges jumelés. Les deux humidificateurs sont alimentés en vapeur basse pression par un générateur de vapeur électrique (fig. 10) muni d'une pompe d'alimentation en eau fraîche. Les caractéristiques principales de ces agrégats sont les suivantes :

Débit d'air total	61 000 m ³ /h
Puissance totale des moteurs des ventilateurs	14 ch
Puissance frigorifique totale	300 000 kcal/h
Puissance calorifique totale	185 000 kcal/h
Puissance installée du générateur de vapeur électrique	48 kW

L'air climatisé est introduit dans la salle des expositions (fig. 11 et 12) par des bouches de pulsion aérofuses disposées de manière régulière au plafond, de forme circulaire et légèrement hémisphérique. L'air est amené par un réseau de conduites logé dans le vide de toiture et comprenant un gros amortisseur phonique préfabriqué. Les raccords sont réalisés en éléments transparents, de manière à ne projeter aucune ombre sur le

² La relation entre la température ambiante et la température extérieure a été choisie de façon à éviter de trop brusques changements de température pour les visiteurs au moment de pénétrer dans les locaux (voir fig. 17).

Fig. 7a. — Représentation spatiale de l'arrangement des appareils pour la climatisation de l'annexe du Kunsthaus zurichoïis.



a) Salle des expositions

- 1 Agrégat de climatisation
- 2 Ventilateur de pulsion
- 3 Moteur de ce ventilateur
- 4 Humidification par vapeur
- 5 Réchauffeur d'air à eau chaude
- 6 Refroidisseur d'air
- 7 Filtre d'air
- 8 Installation de rinçage
- 9 Canal de pulsion
- 10 Amortisseurs acoustiques
- 11 Pulsion d'air
- 12 Grille de roulement
- 13 Grille d'air frais
- 14 Gaine d'air frais et de roulement
- 15 Tableau électrique
- 16 Evaporateur électrique
- 17 Régleur de niveau
- 18 Régulateur de pression
- 19 Soupape de surpression
- 20 Bassin d'eau fraîche
- 21 Soupape à flotteur
- 22 Pompe d'alimentation
- 23 Volet anti-retour
- 24 Trop-plein
- 25 Vase d'expansion
- 26 Vanne à trois voies pour l'eau chaude
- 27 Vanne à trois voies pour l'eau froide
- 28 Vanne électrique pour l'humidification
- 29 Vanne magnétique pour le rinçage
- 30 Vanne d'arrêt manuelle

b) Ventilation du vide de toiture

- 31 Diaphragme de réglage
- 32 Volets d'air frais
- 33 Volets d'air de roulement
- 34 Moteur des volets
- 35 Tableau de service
- 36 Thermostat pour le chauffage et pour le froid
- 37 Hygrostat
- 38 Purge d'eau
- 39 Ventilateur d'air de pulsion
- 40 Moteur du ventilateur 39
- 41 Filtre à air
- 42 Réchauffeur d'air à eau chaude
- 43 Ventilateur d'extraction
- 44 Moteur du ventilateur 43
- 45 Thermostat pour l'exploitation d'été
- 46 Thermostat pour l'exploitation d'hiver
- 47 Thermostat de chauffage
- 48 Vanne à trois voies pour l'eau chaude

c) Salle de conférence

- 50 Agrégat de climatisation
- 51 Ventilateur d'air de pulsion
- 52 Moteur du ventilateur 51
- 53 Gaine de pulsion
- 54 Gaine d'extraction sous la scène
- 55 Gaine d'extraction au plafond
- 56 Filtre à air
- 57 Refroidisseur d'air

- 58 Réchauffeur d'air à eau chaude
- 59 Réchauffeur d'air électrique
- 60 Humidificateur d'air
- 61 Séparateur
- 62 Bac
- 63 Purge d'eau
- 64 Vanne d'arrêt manuelle
- 65 Filtre à eau
- 66 Vanne magnétique
- 67 Vanne à trois voies pour le chauffage
- 68 Vanne de passage pour le froid
- 69 Diaphragme de réglage
- 70 Volet d'air frais
- 71 Moteur des volets
- 72 Ventilateur d'extraction
- 73 Moteur du ventilateur 72
- 74 Volets d'extraction
- 75 Volets de roulement
- 76 Moteur des volets
- 77 Hygrostat pour l'humidification
- 78 Thermostat pour le chauffage et le froid
- 79 Thermostat pour le froid
- 80 Tableau électrique
- 81 Potentiomètre
- 82 Commutateur manuel

d) Centrale frigorifique

- 83 Machines frigorifiques « Trane »
- 84 Compresseur
- 85 Moteur du compresseur 84
- 86 Condenseur
- 87 Refroidisseur d'eau
- 88 Pompes de circulation d'eau
- 89 Conduites du fréon liquide
- 90 Echangeur de chaleur pour fréon
- 91 Filtre-sécheur de fréon
- 92 Soupape d'expansion
- 93 Vanne magnétique
- 94 Vanne d'arrêt manuelle
- 95 Thermostat d'eau froide
- 96 Relais
- 97 Moteur pour le réglage des cylindres
- 98 Armoires électriques

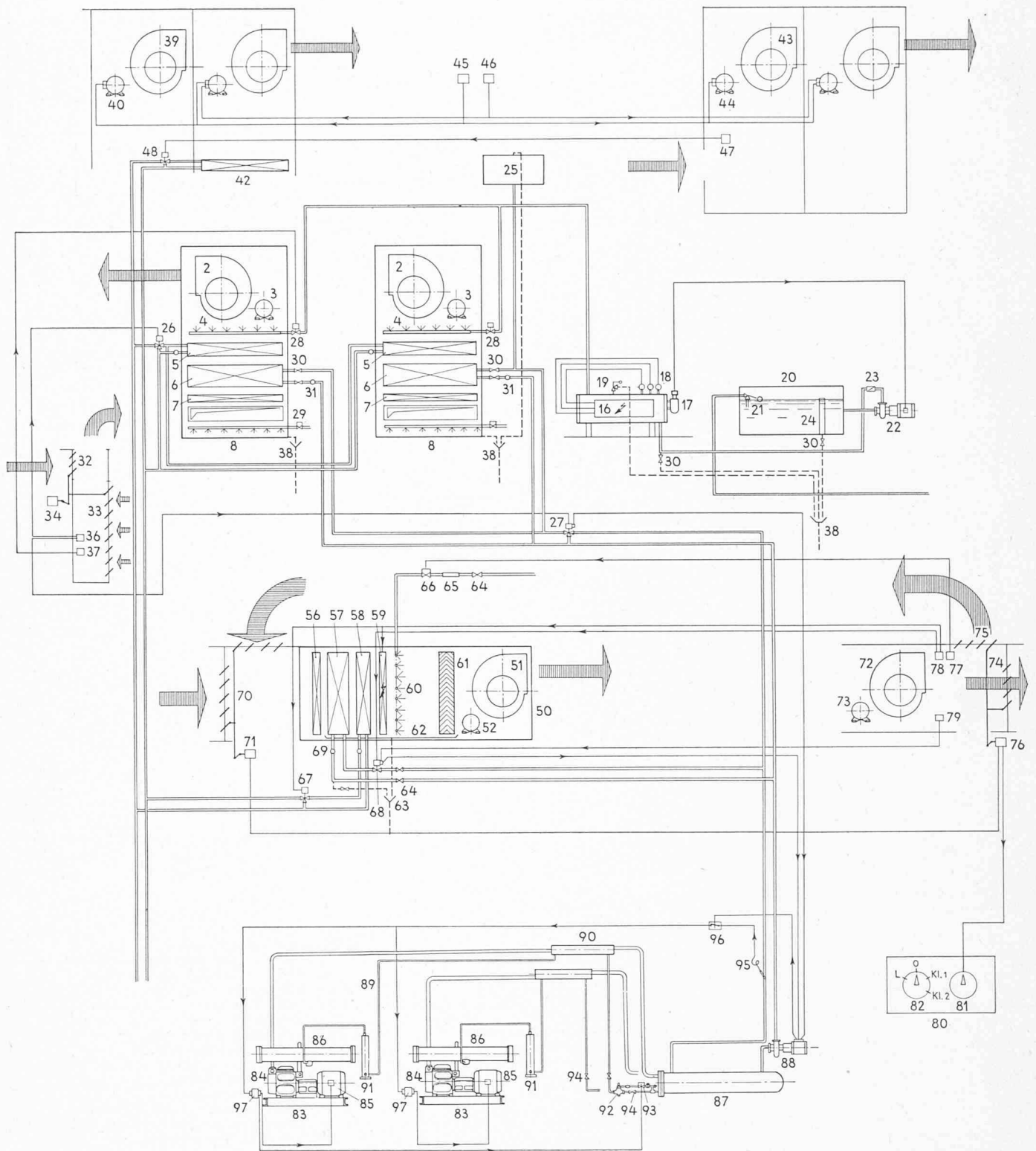


Fig. 7b. — Schéma de fonctionnement des installations de climatisation.

plafond translucide (fig. 13). L'air de roulement est repris dans deux chambres placées contre la paroi sud et munies de fentes, chambres dans lesquelles il est mélangé à l'air frais ; ce mélange est dosé par l'intermédiaire de clapets à lamelles.

La salle des conférences, dans laquelle des repas peuvent être servis et où il est permis de fumer, est soumise à des taux d'occupation très variables et parfois très élevés. Ces conditions particulièrement sévères d'explo-

tation ont requis un apport d'air frais assez important. Ce fait a nécessité le renforcement de l'agrégat de climatisation, qui a été pourvu, en supplément, d'un ventilateur spécial de reprise et d'une chambre de mélange d'air frais et d'air de roulement. Cet agrégat de climatisation (fig. 14), entièrement préfabriqué, comporte bien entendu des filtres à air, des batteries de froid et de chaud, ainsi qu'un humidificateur d'air à brouillard ; il est équipé, en outre, d'un réchauffeur d'air électrique,

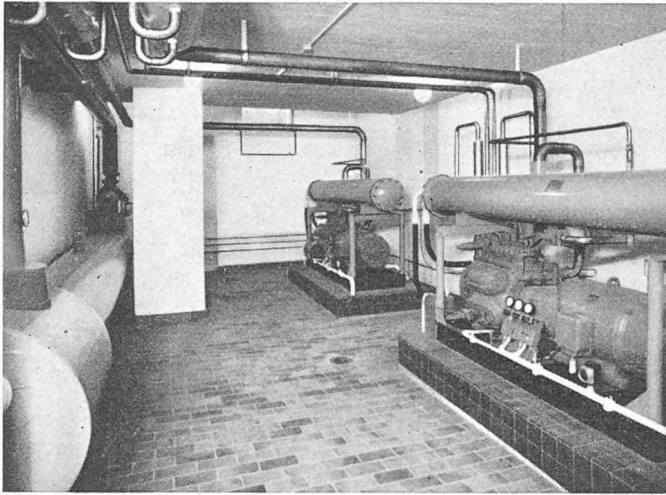


Fig. 8. — Centrale frigorifique. A droite, les deux groupes surmontés des condenseurs. A gauche, le refroidisseur d'eau. Les pompes de circulation d'eau froide sont masquées par le pilier.

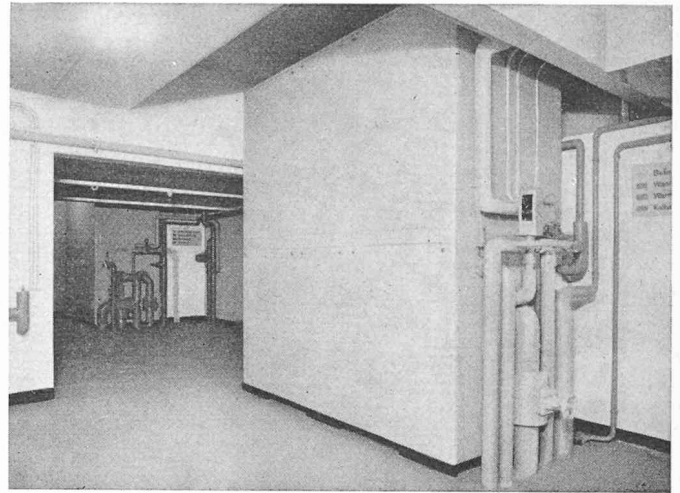


Fig. 9. — Local des appareils dans le vide de toiture. A droite, l'un des deux agrégats de climatisation de la salle des expositions.

d'une puissance raccordée de 18 kW. Grâce à ce réchauffeur d'appoint, il est possible, dans l'entre-saison ou lors de journées d'été relativement fraîches, de faire fonctionner l'installation de climatisation sans qu'il soit nécessaire de mettre en marche la chaudière du chauffage central ; cette solution, qui confère à l'installation une remarquable souplesse, s'avère particulièrement avantageuse lorsque les besoins calorifiques à couvrir sont faibles, ce qui est précisément le cas dans l'entre-saison. Les caractéristiques principales de l'agrégat de climatisation sont les suivantes :

Débit d'air	15 000 m ³ /h
Puissance totale des moteurs de ventilateurs	6,7 ch
Régime maximum	1 440 t/min
Puissance frigorifique totale	75 000 kcal/h
Puissance calorifique totale	100 000 kcal/h
Puissance raccordée du réchauffeur d'air électrique	18 kW

L'air climatisé est introduit dans la salle des conférences par l'intermédiaire de bouches de pulsion aérofuses (fig. 15). A cause de la présence de sommiers très épais (le bâtiment est supporté par des piliers de béton), les gaines d'air ont dû être dessinées de telle manière qu'elles traversent les sommiers sans les affaiblir. A cet effet, la quantité totale d'air à pulser a été divisée en un certain nombre de gaines individuelles, dont le passage à travers les sommiers est chaque fois assuré par des bagues d'acier noyées dans le béton (fig. 16). L'alimentation en air des gaines individuelles s'opère dans une grande chambre de pression qui agit en même temps comme amortisseur de bruit. La distribution de l'air pulsé, logée dans le faux plafond — dont la présence était nécessaire pour masquer les sommiers et pour des raisons d'acoustique de la salle — est donc entièrement cachée.

Pour éloigner les fumées répandues dans la salle des conférences, il était nécessaire de prélever l'air d'évacua-

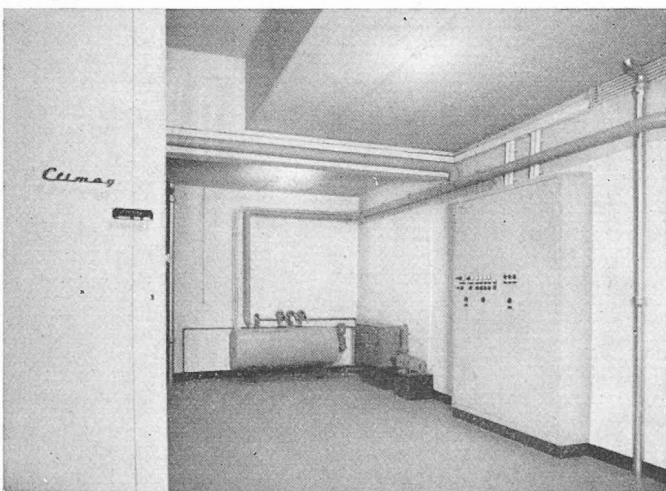


Fig. 10. — Local des appareils dans le vide de toiture. A droite, les panneaux de contrôle, avec l'appareillage électronique. A gauche, vue partielle de l'un des deux agrégats de climatisation. A l'arrière-plan, le générateur électrique de vapeur et la pompe d'alimentation.

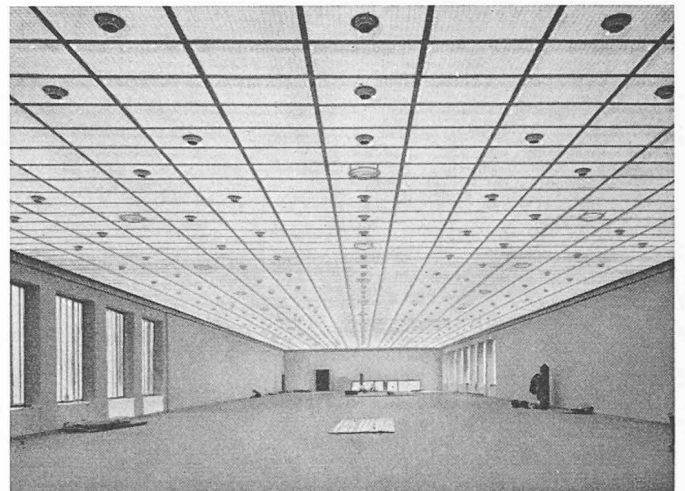


Fig. 11. — La salle des expositions, sans les cloisons intermédiaires. Les grilles aérofuses sont fixées au plafond.

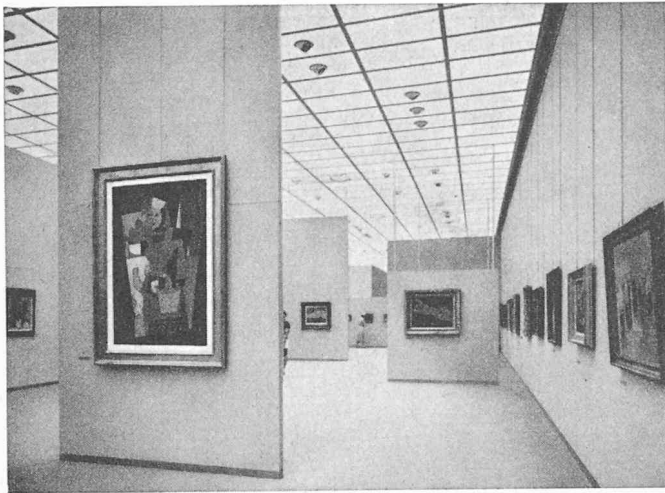


Fig. 12. — La salle des expositions, équipée des cloisons intermédiaires.



Fig. 13. — Le vide de toiture, avec le réseau de distribution des gaines d'air climatisé ; les raccords sont en matière transparente. En haut, à gauche, vue partielle d'un gros amortisseur de bruit.

tion et de roulement aussi bien dans la partie inférieure que dans la partie supérieure. Dans ces conditions, deux tiers de la quantité totale d'air à extraire sont pris au plafond — et pour des raisons d'esthétique, par les mêmes aérofuses — et un tiers par de petites ouvertures rectangulaires situées à environ 50 cm au-dessus du sol, dans la région de l'avant-scène.

Le fonctionnement de toute l'installation de climatisation, dont la puissance électrique totale des appareils s'établit à 200 kW, se déroule de manière absolument automatique. La mise en service des installations est commandée par un simple interrupteur à poussoir. Il n'y a pas d'interrupteur d'été ou d'hiver. Les dispositifs de refroidissement ou de réchauffage, d'humidification ou de dessiccation de l'air sont mis en service et réglés de manière automatique au gré des besoins. Il en va de même pour la salle des conférences où le réglage est prévu de telle manière que, lorsque la climatisation de l'air ne revient pas trop cher, un débit maximum d'air soit dispensé. Des instruments électriques et électroniques maintiennent constante la température d'ambiance en hiver, alors qu'en été ces mêmes appareils

adaptent la température d'ambiance à la température extérieure (fig. 17).

Lorsque l'installation fonctionne sur le froid, c'est la température de l'eau de refroidissement du fréon qui sert de grandeur de réglage, car elle est précisément fonction de la charge frigorifique. Des sondes spéciales détectent cette température et, par l'intermédiaire d'un coffret de commande, provoquent les enclenchements successifs des six paliers de la première machine frigorifique. Lorsque la puissance frigorifique ne suffit plus, la deuxième machine entre automatiquement en service. Chacune des trois installations, c'est-à-dire la centrale frigorifique et les deux agrégats de climatisation (l'un pour la salle des expositions et l'autre pour la salle des conférences) possède son propre tableau de commande dans lequel sont logés les contacteurs, les coupe-circuits, les lampes-témoins et les appareils électriques. Les groupes sont en liaison électrique avec la centrale frigorifique de telle manière que les machines frigorifiques se mettent automatiquement en marche dès qu'un besoin frigorifique se manifeste dans l'une des salles.

Le vide de toiture, auquel il a été fait allusion dans le

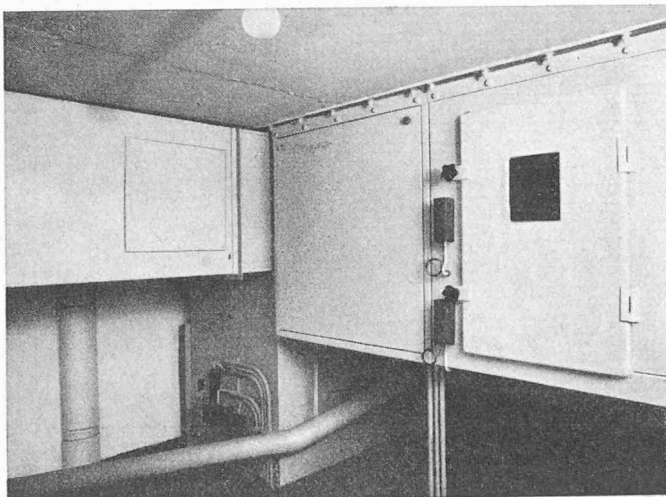


Fig. 14. — Agrégat de climatisation de la salle de conférence (vue partielle).

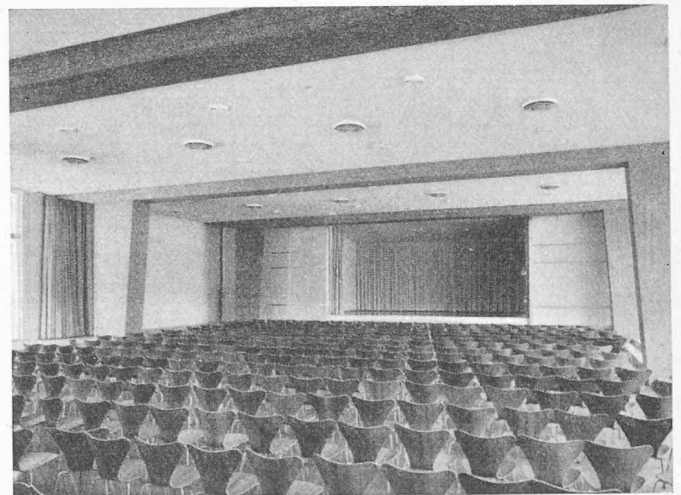


Fig. 15. — Salle des conférences, avec vue sur la scène. Vue partielle des aérofuses placées au plafond.

chapitre consacré aux charges frigorifiques, possède sa propre installation de ventilation. Cette dernière a pour but d'absorber la plus grande partie possible de la chaleur de rayonnement accumulée dans la maçonnerie et de la renvoyer à l'air libre. Ceci permet de réduire la température régnant dans le vide de toiture et de réduire ainsi le passage de chaleur dans les salles. Cette installation comprend deux agrégats d'amenée d'air (fig. 18), ainsi que deux agrégats d'évacuation d'air, ces agrégats étant munis de ventilateurs centrifuges jumelés. Les agrégats d'amenée d'air sont pourvus de filtres afin d'assurer la propreté du plafond en Plexiglas. Ils débitent chacun 25 000 m³/h d'air pour une puissance totale des moteurs de 5,5 ch.

Ces groupes d'amenée et d'évacuation d'air, qui assurent ainsi une circulation forcée dans le vide de toiture, sont prévus avant tout pour le régime d'été. Pour le régime d'hiver, un seul de ces groupes est mis en fonctionnement, l'un des agrégats d'amenée d'air étant pourvu d'un réchauffeur d'air à eau chaude. La circulation d'air réchauffé à travers le vide de toiture permet d'éviter des condensations sur le toit en verre. Le chauffage est encore renforcé par la présence de tuyaux de chauffage. La mise en marche de l'installation de ventilation du vide de toiture s'effectue manuellement selon les besoins.

4. Résultats d'exploitation

L'installation est maintenant en exploitation depuis trois ans. Au cours de cette période, une expérience très étendue a pu être réalisée quant aux performances et au fonctionnement de l'installation, qui a été soumise à un contrôle constant. Les mesures qui ont été effectuées, tantôt de manière continue et tantôt de manière sporadique, ont porté avant tout sur les températures, les degrés d'humidité et les mouvements d'air à l'intérieur des locaux climatisés, ainsi que sur les puissances des moteurs, les pressions de fréon, la consommation d'eau fraîche, les débits d'air, les puissances frigorifiques, le fonctionnement des dispositifs de réglage et sur des analyses phoniques.

Ces nombreuses mesures ont mis en évidence le fonctionnement parfait des installations, les performances attendues étant non seulement atteintes mais même souvent dépassées. Au cours de la plus chaude journée de l'été 1958, à savoir le 1^{er} août, par une température de l'air extérieur de 31,6°C et par ciel clair, la température à l'intérieur de la salle des expositions se stabilisa à 24°C (voir la reproduction de la bande de mesure de la figure 19), aucun mouvement d'air intempestif n'étant signalé malgré la très forte charge frigorifique.

Il s'est également avéré, au cours de nombreuses mesures acoustiques, que les intensités phoniques aux différentes bandes de fréquence correspondaient bien aux valeurs généralement admises pour ce genre de locaux. Ce résultat est remarquable, si l'on songe que les diverses machines utilisées pour la climatisation, souvent très puissantes et dont quelques-unes appartiennent à la classe des machines dites rapides, sont situées au voisinage immédiat des locaux traités ; il est dû avant tout à l'emploi d'insonorisateurs ou amortisseurs acoustiques parfaitement adaptés aux fréquences en jeu.

Le mode de représentation utilisé pour l'établissement des diagrammes phoniques (fig. 20 et 21) constitue le meilleur moyen connu actuellement pour identifier les bruits. En effet, lorsqu'il s'agit de reconnaître les

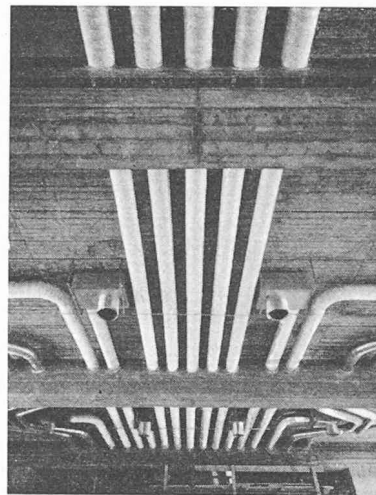


Fig. 16. — Système de distribution des tuyaux de pulsion d'air climatisé pour la salle des conférences (photo prise pendant les travaux).

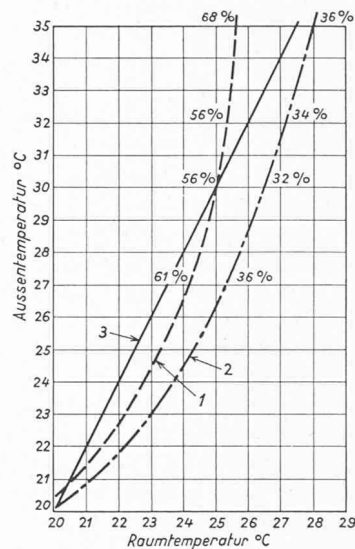


Fig. 17. — Relation désirée entre la température extérieure et la température intérieure.

- 1 Dans le cas d'une grande humidité relative de l'air (55 à 65 %).
- 2 Dans le cas d'une faible humidité relative de l'air (30 à 35 %).
- 3 Courbe déterminante pour le réglage automatique.

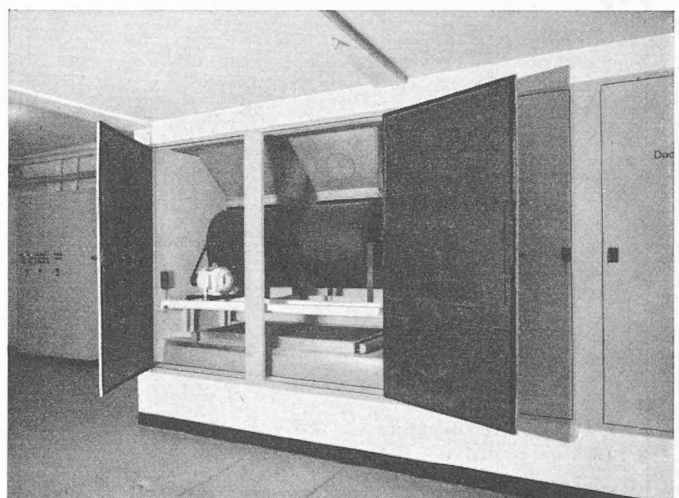


Fig. 18. — Agrégat de pulsion dans le local des appareils, situé dans le vide de toiture. Cet agrégat est destiné à la ventilation du vide de toiture. Les portes d'accès à l'autre agrégat sont ici fermées.

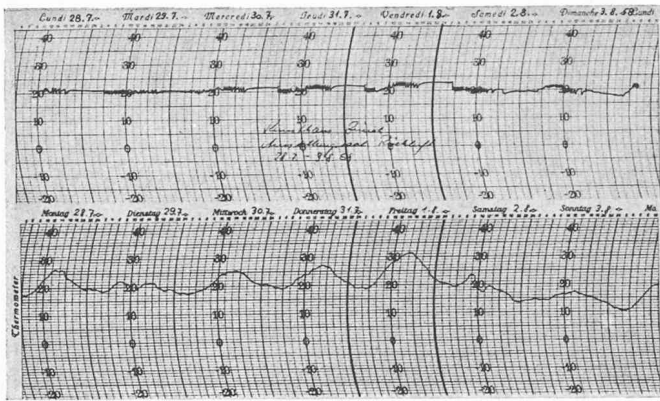


Fig. 19. — Enregistrement de la température intérieure (en haut) et de la température extérieure (en bas) pour la période allant du 28 juillet au 3 août 1958 (le 1^{er} août ayant été, avec une température à midi de 31,6°C, le jour le plus chaud de 1958).

niveaux de bruit d'une installation, on ne saurait se contenter d'une simple évaluation en phones qui fixe, pour chaque installation, une certaine valeur ; il est de première importance d'en mesurer le *spectre sonore réel*, et de le comparer à un *spectre-critère*, établi de manière subjective en fonction de la destination du local considéré. Une famille de courbes a donc été tracée qui représente le spectre sonore admissible (GK) pour les critères 20, 25, 30, etc., jusqu'à 70 (voir le tableau ci-dessous) ; à ces courbes a été ajoutée celle qui figure le seuil sensible de l'oreille (Hörschwelle) ou niveau audible.

La salle des expositions et la salle des conférences ont été soumises à des analyses acoustiques dans deux cas : lorsque les installations de climatisation sont à l'arrêt (courbe interrompue) et lorsqu'elles sont en fonctionnement (courbe continue). On constate ainsi que le spectre réel dans la salle des expositions, pour l'installation en marche, est constamment situé au-dessous du spectre-critère 35 (fig. 20), alors que, pour la salle des conférences, et dans les mêmes conditions, on est constamment en dessous de 30.

Critères de bruit qualifiant les installations de climatisation

Destination des locaux	Critère GK
Studios de radio, salles de concert . . .	20
Salles de conférence (grandes), salles de théâtre (500 places, sans amplificateur), locaux de réunion	25
Locaux scolaires (sans amplificateur) . . .	25
Studios de télévision, locaux de musique, chambres à coucher (privées)	30
Locaux de conférence (petits), salles de cinéma	30
Chambres d'hôtels, appartements	30
Eglises, hôpitaux, bureaux de direction	30
Salles de tribunal, bibliothèques	30
Bureaux privés (petits)	35
Bureaux, en général	40
Bureaux techniques, restaurants	45
Locaux de vente, stades, halles de sport (enceintes fermées)	50
Bureaux avec machines à écrire	55
Locaux industriels	60

Qualification physiologique des critères GK

- GK 20-30 : très tranquille
- GK 25-35 : tranquille
- GK 30-40 : légèrement bruyant
- GK 35-45 : moyennement bruyant
- GK 45-60 : bruyant

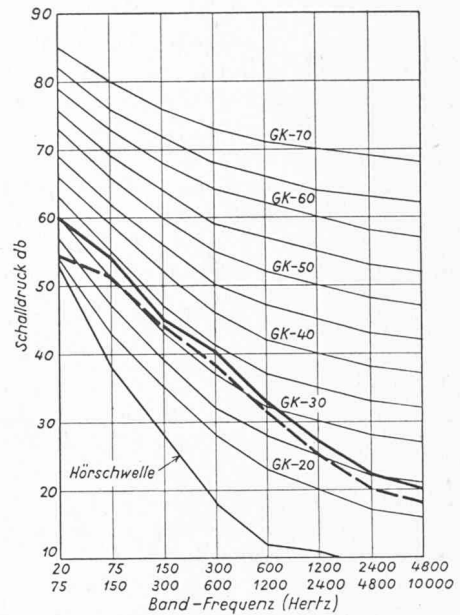


Fig. 20. — Critères de bruit pour la salle des expositions.

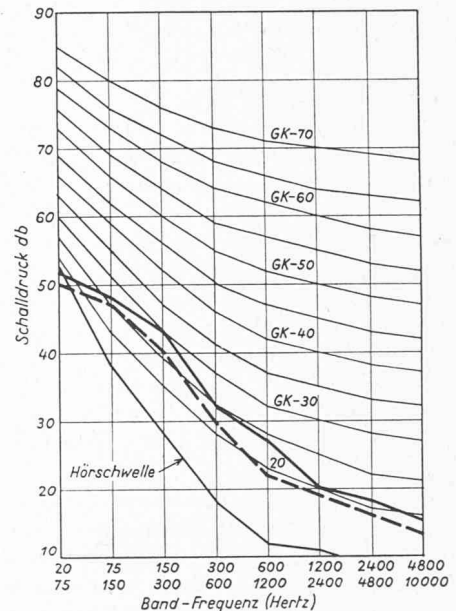


Fig. 21. — Critères de bruit pour la salle des conférences.

Les traits interrompus sont valables lorsque les installations de ventilation et de climatisation ne fonctionnent pas (spectre sonore général provenant des bruits de la rue). Le trait gras, par contre, s'applique au cas où ces installations sont en activité.

L'installation de climatisation du Kunsthaus zuricois compte parmi les plus grandes du genre à Zurich. Elle remplit parfaitement et sans effets secondaires une fonction difficile et délicate, sans exiger toutefois la présence d'un personnel particulièrement qualifié, car son entretien est simple et ne nécessite pas beaucoup de temps en dépit de sa complexité. Les nombreux problèmes engendrés par cette installation ont pu être maîtrisés grâce à la parfaite compréhension de la commission des travaux et des architectes Pfister frères, de Zurich, et grâce à une étroite et inlassable collaboration lors de la résolution des tâches techniques et constructives.

Adresse de l'auteur : W. Häusler, ingénieur, Stampfenbachstr. 56, Zurich 6.