

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 93 (1967)
Heft: 12: Piscine des Vernets, Genève

Artikel: Les installations électro-mécaniques de la piscine des Vernets à Genève
Autor: Matthey, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69079>

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: 27.01.2026

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

3. Dimensions du bassin olympique

Les règlements internationaux de natation sont très pointilleux pour l'homologation des bassins car les tolérances sont très faibles ($-1 \text{ m/m à } +5 \text{ m/m}$).

Nous devions construire le bassin en plein air, c'est-à-dire à une température comprise entre 10 et 18°, mais il est exploité à 22-24° de température constante.

Pour connaître la dimension à lui donner, il fallait connaître sa longueur exacte et surtout son coefficient de dilatation. Ce dernier était difficile à déterminer exactement car, à l'état vide, le fond n'avait pas la même température que les parois. Nous avons fait des lectures avec le bassin vide et profité des essais d'étanchéité avant la pose de l'enduit Sika pour connaître quelques points de sa courbe d'allongement. Ces mesures ont été exécutées, grâce à l'obligeance de la Direction du Cern, avec un appareillage de haute précision ; nous avons ainsi construit notre bassin avec un écart de l'ordre de $1/10$ de millimètre pour le bassin plein avec de l'eau à 23°.

4. Charpente métallique

Les entreprises Zschokke-Thibault, chargées de la construction métallique, ont exécuté la construction en usine des pièces de la charpente et procédé au montage sur place à l'aide de derricks.

Le système de la charpente métallique est stable lorsque tous les éléments sont assemblés, mais instable en cours de montage puisqu'elle repose sur quatre points.

En fin de travaux les erreurs d'alignement par rapport aux axes théoriques ne dépassaient pas 3 cm pour une longueur de 60 m. La protection antirouille de la charpente a été réalisée par l'application de deux couches de Zinga de 800 g/m² après sablage des profilés. Cette protection est indispensable pour une piscine couverte où le degré d'humidité est de 60 % environ pour de l'air à 26° avec des vapeurs chlorées inévitables à cause de l'évaporation de l'eau.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRO-MÉCANIQUES DE LA PISCINE DES VERNETS À GENÈVE

par PIERRE MATTHEY, ing. méc. EPUL, ingénieur de la Société Générale pour l'Industrie, Genève

1. Introduction

Le but de cet exposé est de décrire les installations électro-mécaniques de la piscine et leurs particularités essentielles. Elles comportent :

- chauffage ;
- installation frigorifique ;
- climatisation ;
- traitement des eaux ;
- distribution de l'énergie électrique ;
- éclairage ;
- installations accessoires (sonorisation, téléphone, transmission d'alarmes, recherche de personnes, chronométrage, indication de l'heure).

2. Chauffage

a) Installation

Lors de la construction de la patinoire couverte, la chaufferie avait été dimensionnée en prévision de la construction de la piscine couverte et de la future patinoire extérieure. C'est dans cette chaufferie que les

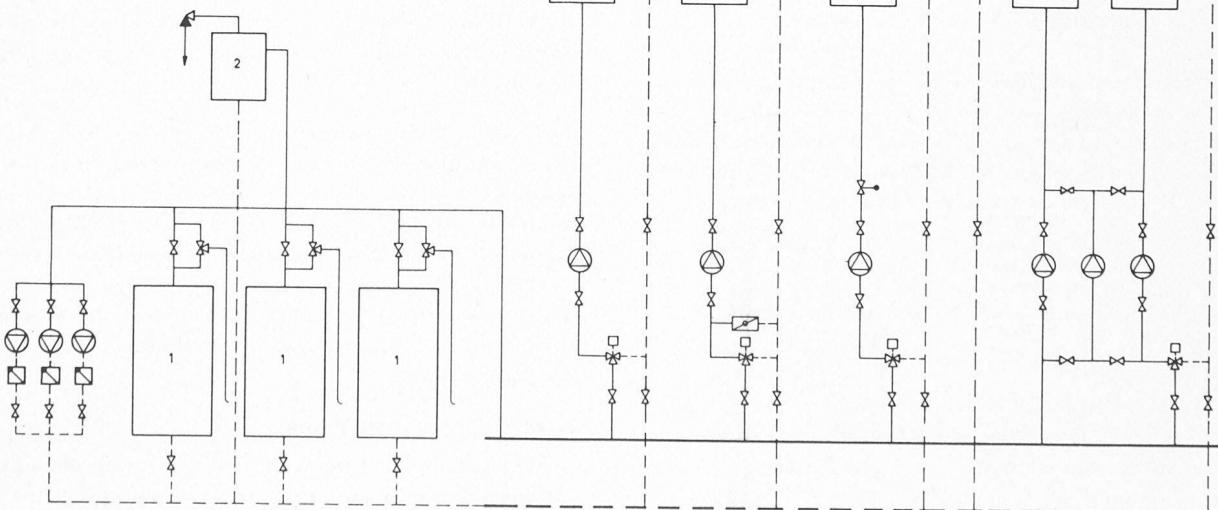


Fig. 1. — Chauffage — Schéma simplifié.

1. Chaudières
2. Vase d'expansion
3. Circuit des convecteurs

4. Circuit des vestiaires
5. Circuit du sol hall-piscine
6. Circuit des échangeurs et bouilleur
7. Circuit des batteries de climatisation

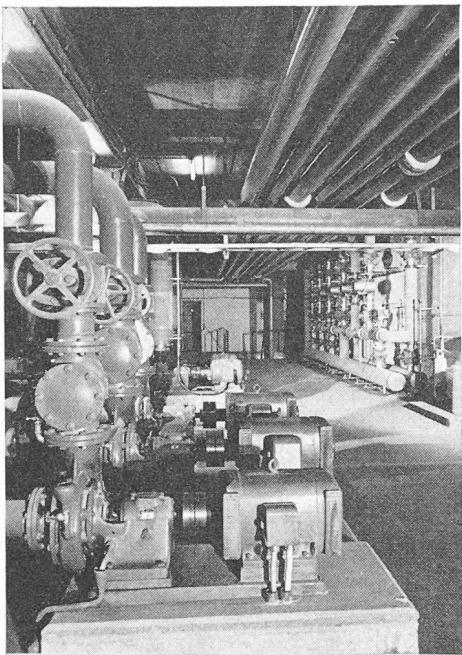


Fig. 2. — Au premier plan, les groupes moto-pompes du circuit d'eau des tours de refroidissement; au fond, les pompes du circuit d'eau glacée.
A droite, les collecteurs principaux du chauffage.

trois chaudières de la piscine (fig. 1/1), ainsi que les trois circulateurs primaires, ont pu être installés. Usuellement, les deux circuits primaires de la patinoire et de la piscine fonctionnent séparément. Il est cependant prévu une liaison entre eux qui permet en cas d'avarie aux chaudières de la piscine de secourir celles de la patinoire, ou inversement.

Les chaudières destinées à la piscine sont du type à eau chaude avec une température de départ fixée à 109°C ; leur puissance totale est de 3 750 000 kcal/h. Elles sont prévues pour fonctionner soit au mazout, soit au coke.

Les brûleurs, ainsi que leur système de réglage, fonctionnent selon deux régimes. Cela permet une exploitation continue à petite flamme pour les faibles charges et évite des enclenchements et déclenchements trop fréquents.

Dans un local voisin de la patinoire couverte se trouvent les collecteurs principaux, d'où partent les circuits secondaires, avec les circulateurs et les vannes automatiques assurant le maintien des températures prescrites (fig. 2). Il y a cinq secteurs desservis, soit (fig. 1) :

- circuit des convecteurs (3) ;
- circuit des vestiaires (4) ;
- circuit du sol hall-piscine (5) ;
- circuit des échangeurs pour l'eau des bassins et des douches et le bouilleur (6) ;
- circuit des batteries de la climatisation (7).

Dans le local précité se trouvent également un bouilleur de 12 m³ de contenance produisant l'eau chaude pour le restaurant et deux échangeurs destinés à tempérer l'eau pour les douches.

b) Chauffage de l'eau des bassins

Le maintien de l'eau des bassins aux températures fixées et le chauffage de l'eau d'appoint lors de remises

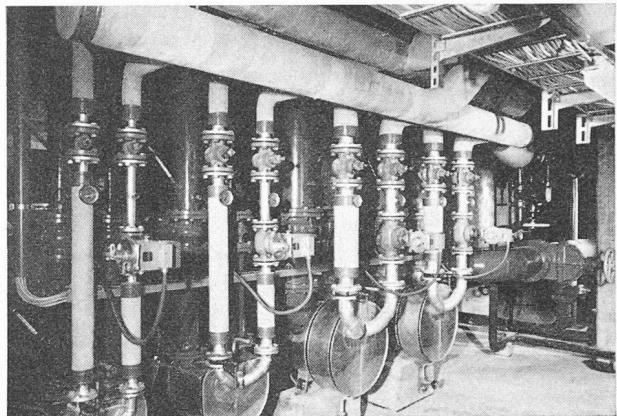


Fig. 3. — Les échangeurs de chaleur pour l'eau des bassins.

à niveau sont assurés par quatre échangeurs de chaleur à contre-courant ; soit deux échangeurs pour le bassin « olympique », un pour le bassin « non-nageurs » et un pour le « barbotoir » (fig. 3). Ces échangeurs ont été dimensionnés de manière à pouvoir, en un seul passage, chauffer l'eau à la température prévue pour la baignade. Cela a pour effet de raccourcir la durée de suspension de l'exploitation lors des remises à niveau ou des vidanges.

Les températures ont été fixées à 22°C en été et 24°C en hiver pour les bassins « olympique » et « non-nageurs » et à 26°C pour le « barbotoir » durant toute l'année.

c) Chauffage du hall-piscine

L'ensemble des plages entourant les bassins, ainsi que les deux promenoirs latéraux, sont chauffés pour le confort des baigneurs, ce qui concourt également à combler partiellement les déperditions thermiques du hall-piscine. Le chauffage est du type à serpentins d'une longueur d'environ 6,4 km, noyés dans la chape du sol. Un réglage automatique en fonction de la température extérieure fait varier la température de l'eau d'alimentation des serpentins entre un maximum par basse température extérieure en hiver et un minimum en été. Par ailleurs, des conveuteurs sont disposés au bas des vitrages de la partie surélevée du hall-piscine. Ils participent au chauffage du hall et évitent les retombées d'air froid et les condensations sur les vitrages. Le réglage se fait de la même manière que pour les serpentins du sol.

d) Chauffage des vestiaires et des locaux de douches

Le chauffage des vestiaires est destiné, d'une part, à combler les déperditions thermiques et, d'autre part, à rendre le sol agréable aux pieds nus des baigneurs. Il maintient automatiquement une température ambiante de 26°C.

Ce chauffage est réalisé au moyen de panneaux rayonnants suspendus sous le plafond.

3. Installation frigorifique

La patinoire couverte construite antérieurement est équipée d'une installation frigorifique qui n'est pas utilisée en été. La piscine étant située à proximité immédiate, une extension de cette installation a permis de réaliser la climatisation avec rafraîchissement de l'air pendant la saison chaude. Cette disposition, peu

courante à notre connaissance pour une piscine, n'a entraîné que de faibles frais par rapport à l'ensemble des investissements.

Un évaporateur, d'une puissance de 810 000 fg/h, refroidit l'eau qui est distribuée au moyen de deux pompes (fig. 2) et d'un réseau de tuyauteries aux groupes de préparation d'air situés dans le sous-sol de la piscine.

Par la même occasion, quatre tours de refroidissement à ventilation forcée ont été installées. Elles permettent d'évacuer jusqu'à 2 200 000 kcal/h lors de l'exploitation des deux patinoires ou 1 400 000 kcal/h pour la climatisation, et ceci avec une consommation d'eau de ville minime.

4. Climatisation

a) Généralités

Comme nous l'avons indiqué au paragraphe précédent, la climatisation de l'ensemble de la piscine se fait avec refroidissement en été ; en hiver, elle assure le chauffage des locaux. Des conditions favorables de confort peuvent ainsi être obtenues tout au long de l'année.

L'adoption de ventilateurs équipés de moteurs à deux vitesses, permettant dans certaines conditions le fonctionnement à débit partiel, contribue à réduire les frais d'exploitation.

Le trajet de l'air dans les locaux est représenté schématiquement sur la figure 4. Dans la description ci-dessous, les températures intérieures citées correspondent aux conditions extérieures extrêmes de -12°C et 90-100 % d'humidité relative en hiver, de $+30^{\circ}\text{C}$ et 50 % d'humidité relative maximum en été.

b) Hall-piscine, vestiaires et locaux de douches

Pour le hall-piscine (fig. 5/4), les conditions climatiques ont été fixées à $+26^{\circ}\text{C}$ de température et à environ 60 % d'humidité relative, compte tenu d'une évaporation relativement importante provoquée par l'eau des bassins et par les baigneurs.

La climatisation tient compte de l'ensemble des

apports thermiques en été et d'une partie des pertes en hiver, le solde étant fourni par le chauffage du sol et par des convecteurs situés au-dessous des vitrages de la partie surélevée du hall.

L'air, pulsé à raison de 140 000 m³/h dans le hall-piscine, est conditionné par deux installations dimensionnées chacune pour la moitié de ce débit. Il s'agit d'un mélange filtré d'air frais et d'air recirculé, chauffé ou refroidi selon la saison.

La pulsion de l'air se fait sur le pourtour du hall-piscine au travers de grilles situées au pied des vitrages ; en balayant le vitrage, l'air chaud empêche toute condensation.

Une partie de l'air pulsé dans le hall-piscine est aspiré au plafond par des gaines et reconduit aux groupes de conditionnement dans le sous-sol. Le reste pénètre dans les vestiaires (2) et les locaux de douches et W.-C. (3), puis est rejeté à l'extérieur au moyen de deux ventilateurs d'extraction. Cette disposition évite d'avoir un groupe de conditionnement d'air pour ces derniers locaux, ce qui entraîne également une économie d'énergie calorifique.

L'un des ventilateurs précités extrait aussi l'air des W.-C. de l'administration (7).

c) Hall d'entrée, restaurant et administration

Pour ces locaux (fig. 5/4), la climatisation tient compte de la totalité des pertes calorifiques en hiver et des apports en été. La température y est maintenue à 20°C en hiver et ne doit pas dépasser 26°C en été. Le degré d'humidité relative est fixé à 40-60 %.

Un groupe de conditionnement situé au sous-sol, sous le hall-piscine, fournit l'air filtré et humidifié, chauffé ou refroidi selon la saison. C'est un mélange d'air frais et d'air recirculé pulsé au pied du vitrage de la façade sud du hall d'entrée, ainsi qu'au travers de grilles réparties sur le pourtour des blocs « administration » et « cuisines ». Cet air est ensuite aspiré au travers de grilles situées à la base du vitrage séparant le hall d'entrée et le hall-piscine.

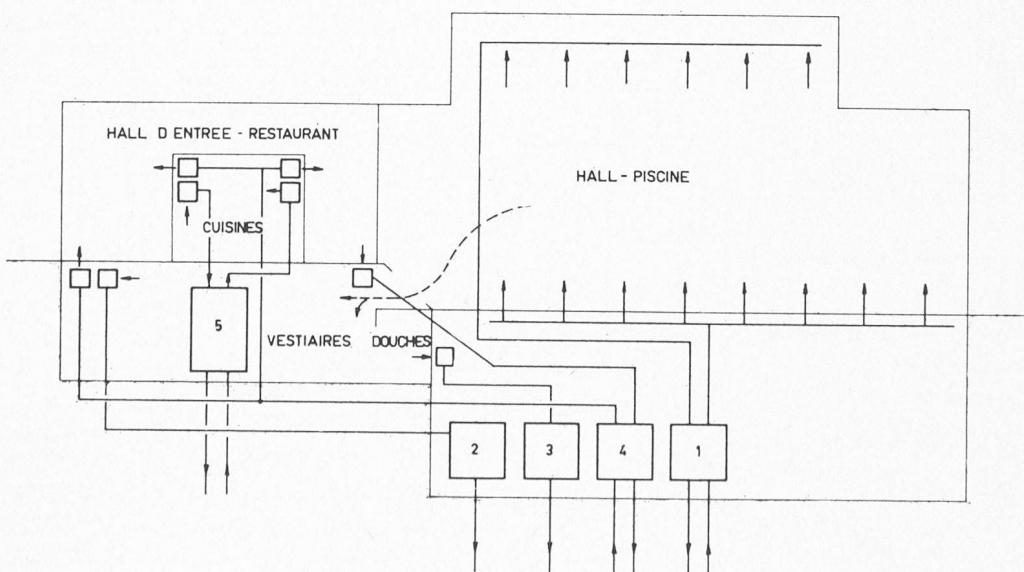


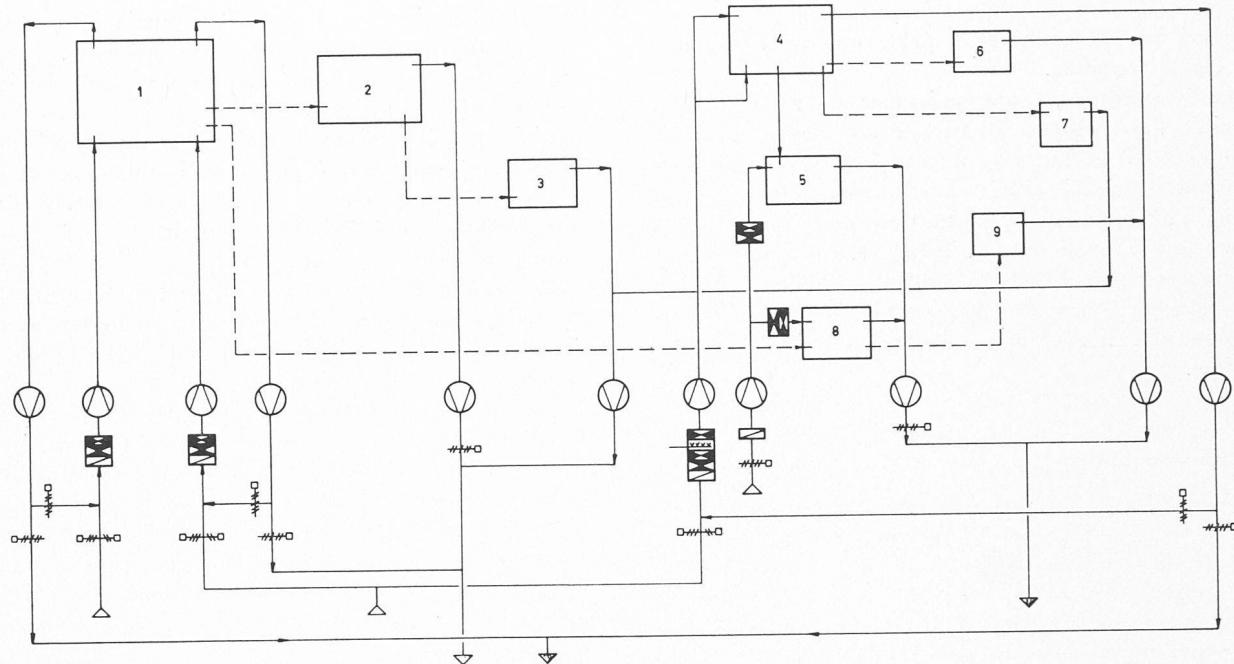
Fig. 4. — Coupe schématique de la piscine.

- 1. Groupes de préparation d'air du hall-piscine
- 2. Ventilateur d'extraction d'air des vestiaires

- 3. Ventilateur d'extraction d'air des douches

- 4. Groupe de préparation d'air du hall d'entrée - restaurant

- 5. Groupe de préparation d'air des cuisines et services cuisines



LEGENDE

- DH--- REGISTRE AVEC SERVO-MOTEUR
- DH--- REGISTRE EN DEUX PARTIES AVEC SERVO-MOTEURS
- [] FILTRE
- [] BATTERIE DE REFROIDISSEMENT
- [] BATTERIE DE CHAUFFAGE
- [] HUMIDIFICATEUR
- (○) VENTILATEUR
- (△) ENTREE D'AIR FRAIS
- (▽) SORTIE D'AIR VIEILLE

Fig. 5. — Climatisation — Schéma simplifié.

1. Hall-piscine
2. Vestiaires
3. Douches et W.-C.
4. Hall d'entrée — Restaurant
5. Cuisines
6. W.-C. du restaurant
7. W.-C. de l'administration
8. Offices
9. W.-C. des offices

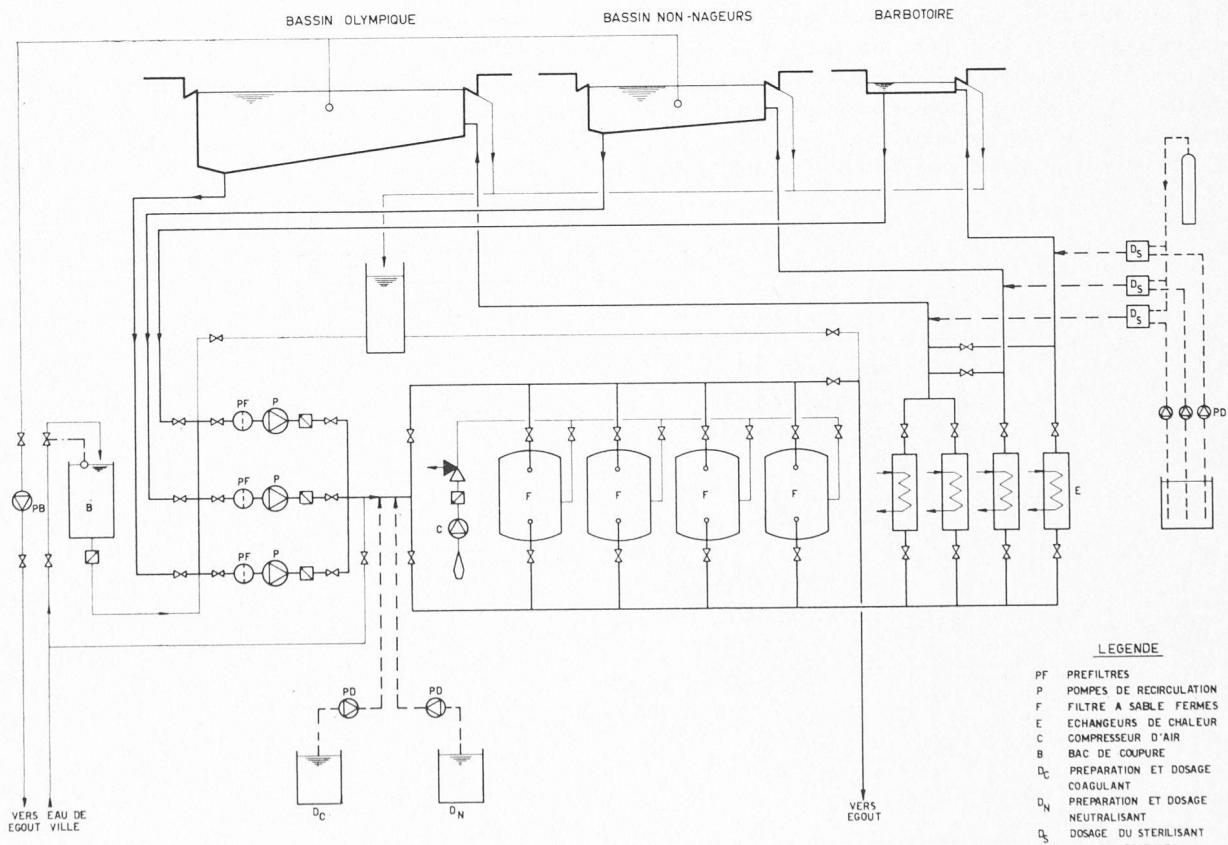


Fig. 6. — Traitement de l'eau — Schéma simplifié.

- | LEGENDE | |
|---------|---------------------------------------|
| PF | PREFILTRES |
| P | POMPES DE RECIRCULATION |
| F | FILTRE A SABLE FERMÉ |
| E | ECHANGEURS DE CHALEUR |
| C | COMPRESSEUR D'AIR |
| B | BAC DE COUPURE |
| D_C | PRÉPARATION ET DOSAGE
COAGULANT |
| D_N | PRÉPARATION ET DOSAGE
NEUTRALISANT |
| D_S | DOSAGE DU STERILISANT |
| PD | POMPES DOSEUSES |

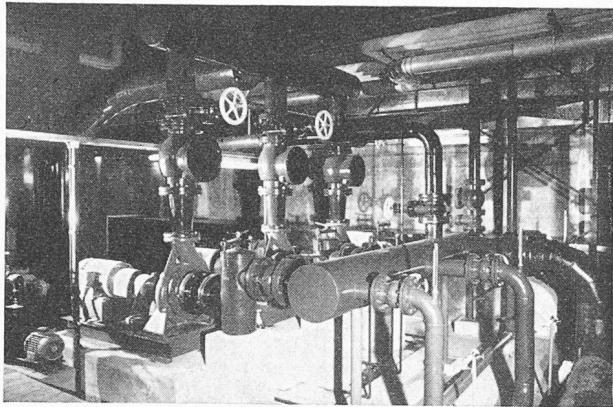


Fig. 7. — Au premier plan, les préfiltres et les pompes de recirculation.

d) Cuisines, offices et W.-C.

Les cuisines (fig. 5/5) et offices (fig. 5/8) ont un groupe de conditionnement d'air autonome, utilisant uniquement de l'air frais.

Un ventilateur d'extraction aspire séparément l'air des W.-C. du restaurant (6) et des W.-C. des services (9).

5. Traitement de l'eau des bassins

L'eau des bassins étant utilisée en circuit fermé, sa régénération est obtenue essentiellement par filtration et stérilisation (fig. 6). La durée de renouvellement est déterminée en fonction du nombre des baigneurs, sur la base d'études statistiques, à savoir :

Durée d'un renouvellement :

Bassin « olympique »	6 h
ce qui correspond à un débit de	420 m ³ /h
Bassin « non-nageurs »	3 1/2 h
ce qui correspond à un débit de	75 m ³ /h
« Barbotoire »	1 h
ce qui correspond à un débit de	45 m ³ /h
Total.	540 m ³ /h

Ce débit total de 540 m³/h est obtenu au moyen de trois pompes de recirculation de 180 m³/h chacune (fig. 7). Cette disposition permet une exploitation à débit partiel lorsque l'occupation est faible, ou en cas d'avarie.

Pour la filtration, l'installation comprend quatre filtres, travaillant en parallèle, disposition également avantageuse en cas d'avarie (fig. 8). Ce sont des filtres à sable du type fermé, fonctionnant avec adjonction de coagulant, ayant une vitesse de filtration de 19 m³/h m². Ils ont l'avantage d'un faible encombrement, sont largement éprouvés et d'une exploitation simple. Un surpresseur d'air permettant le lavage hydropneumatique a été prévu afin de réduire la durée du lavage et la quantité d'eau perdue lors de cette opération. L'adjonction de coagulant permet de retenir les matières colloïdales et d'assurer ainsi une filtration tout à fait satisfaisante pour une eau de piscine.

Une pompe doseuse assure le dosage du coagulant, obtenu par dissolution dans l'eau de sulfate d'alumine. Il en est de même pour le carbonate de soude utilisé comme neutralisant. L'équipement comprend trois pH-mètres indicateurs et un enregistreur graphique mesurant en permanence l'acidité de l'eau des bassins.

Pour la stérilisation, le choix s'est porté sur le bioxyde

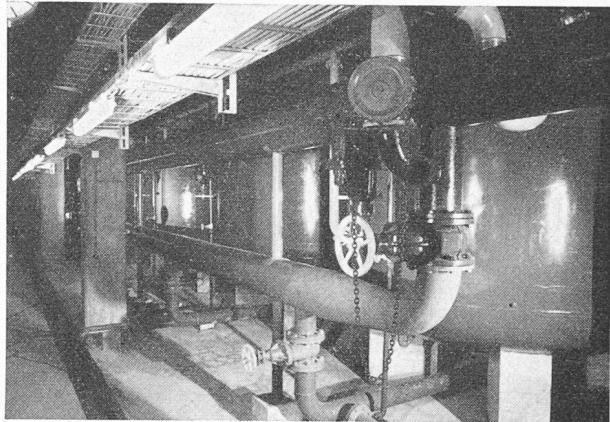


Fig. 8. — Les filtres à sable.

de chlore en raison du fait qu'il ne dégage pratiquement pas d'odeur. Le bioxyde de chlore est obtenu à partir de deux composants, le chlorite de sodium et le chlore. L'installation comprend entre autres un bac pour la préparation de la solution de chlorite de sodium avec brasseur, trois pompes doseuses et trois appareils de dosage du chlore. Ces derniers fonctionnent sous vide, évitant ainsi toute émanation de chlore ou de bioxyde de chlore. Ainsi le dosage se fait séparément pour chacun des trois bassins. Cette installation permet le cas échéant le traitement de l'eau des bassins au chlore.

L'appareillage de dosage du coagulant, du neutralisant et du stérilisant est disposé dans trois locaux équipés d'une extraction d'air mécanique, afin de les maintenir en légère dépression. Ceci évite que des gaz ou vapeurs corrosifs ne se répandent dans la salle des machines.

6. Distribution de l'énergie électrique

L'alimentation en énergie électrique est prévue par un raccordement au réseau de 18 kV du Service de l'électricité au moyen de deux transformateurs de 600 kVA chacun.

Une dizaine de tableaux électriques, dans lesquels sont logés les équipements de commande, de contrôle et de réglage assurent la distribution intérieure.

7. Eclairage

L'éclairage du hall-piscine utilise des tubes luminescents et des luminaires à incandescence.

Les tubes luminescents, de type courant, sont placés dans le lanterneau du plafond et dispensent la lumière au travers d'une grille de défilement. Ce type d'installation empêche pratiquement tout reflet gênant sur les plans d'eau. Un réseau de luminaires directs et indirects à incandescence, disposés sur le pourtour du hall, complète cet éclairage en apportant une note plus « chaude » à l'ambiance.

En temps normal, l'éclairage au sol est de 150 lux. Pour des manifestations spéciales, notamment celles retransmises par la télévision, l'éclairage peut être porté à 400 lux au niveau de l'eau du bassin olympique. L'installation est subdivisée en secteurs, ce qui permet, selon les circonstances, de réaliser des éclairages partiels.

8. Installations accessoires

Nous citerons parmi elles :

- Les installations sonores ayant pour objet la diffusion générale ou locale de musique ou de commentaires parlés dans le hall-piscine, les vestiaires, le hall d'entrée et la patinoire couverte ; la sonorisation de chaque local est contrôlée au moyen d'un pupitre particulier. La commande des amplificateurs, la diffusion des appels et le contrôle des modulations diffusées dans les différents locaux se fait depuis un pupitre central situé dans l'un des bureaux de l'administration, le dispositif d'appel général permet de transmettre une communication dans tous les locaux avec priorité sur les autres diffusions.
- Les installations téléphoniques comprenant un central avec 5 lignes externes et 50 lignes internes.
- La transmission des alarmes techniques en provenance de la piscine et de la patinoire à l'aide d'un dispositif automatique d'appel sur le réseau public des téléphones.
- La recherche de personnes par radio, dans l'ensemble de la patinoire et de la piscine.
- Un dispositif de chronométrage entièrement automatique comprenant : enclenchement à l'aide d'un pistolet de départ, déclenchement à l'aide de plaques de contact, affichage instantané du résultat de l'épreuve.
- L'indication de l'heure dans les différents locaux de la piscine et de la patinoire par une horloge-mère et des horloges secondaires.

9. Remarques finales

L'étude des installations d'une piscine couverte pose des problèmes délicats, car les baigneurs sont devenus

très exigeants quant à la qualité de l'eau et au conditionnement de l'air.

Il était donc nécessaire de prévoir un traitement de l'eau et une ventilation mécanique efficaces.

La stérilisation de l'eau est obtenue au moyen de brome de chlore.

Le chauffage et la ventilation sont complétés par une climatisation assurant la réfrigération de l'air en été et un contrôle permanent de son degré d'humidité. Afin que l'air satisfasse aux normes de température et d'humidité prescrites, quelles que soient les conditions atmosphériques extérieures, des systèmes automatiques de réglage ont été prévus. La conception et le dimensionnement de ces installations ont eu à tenir compte de la présence des plans d'eau ainsi que des importantes surfaces vitrées des façades et de la toiture ressortissant à l'architecture du bâtiment.

Ces facteurs sont également intervenus dans la conception de l'éclairage et des installations de sonorisation.

De plus, dans le cas de la piscine des Vernets, il a fallu tenir compte du fait qu'une partie de l'équipement doit être commun avec la patinoire sise à côté et qu'une extension ultérieure est prévue sous la forme d'une patinoire et d'une piscine extérieures.

Ainsi l'équipement d'une piscine nécessite pour sa conception et son intégration dans l'ouvrage un important travail de coordination. S'il fait appel à des techniques éprouvées, leur application exige néanmoins des études approfondies, tant du point de vue technique qu'économique.

BIBLIOGRAPHIE

Construction, réglage et essais des instruments d'optique, par M. Lachenaud, sous-directeur honoraire au ministère de la Marine, ex-collaborateur scientifique du Laboratoire central d'artillerie navale. Paris, Dunod, 1966. — Un volume 16×25 cm, xlvi + 599 pages, 251 figures. Prix : relié, 98 F.

Au cours des quarante dernières années, et notamment sous la pression des besoins militaires pendant les deux dernières guerres mondiales, les systèmes optiques anciens ont subi des transformations et effectué des progrès considérables ; des instruments nouveaux ont été créés. Le domaine de l'optique instrumentale n'est plus limité comme autrefois à des combinaisons de faible clarté et réservées à des observations axiales ; mais il comprend actuellement des systèmes de haute luminosité et de champ très étendu. Il s'étend même aujourd'hui aux domaines des radiations invisibles, infrarouge et ultraviolet, appelées elles aussi à former des images.

D'autre part, les instruments d'optique ont pris une très grande extension dans tous les domaines de l'activité humaine ; car, du point de vue de la cybernétique, envisagée comme l'art de rendre l'action efficace, ils constituent des moyens d'information à la fois incomparables sous les rapports de la quantité, de l'exactitude, de la précision, de la vitesse et susceptibles d'une conservation indéfinie.

Cet ouvrage a pour objet l'étude de la structure interne des systèmes optiques qui fournissent des images au sens courant du mot, c'est-à-dire des représentations conformes et détaillées des objets extérieurs. On y traite d'abord des matériaux optiques et, naturellement, de l'exécution et des caractéristiques des verres propres à la branche de fabrications dont il s'agit. Mais il est fait aussi une place importante aux substances nou-

velles, telles que les matières plastiques et surtout les cristaux synthétiques artificiels, obtenus aujourd'hui industriellement, qui sont transparents à l'infrarouge et à l'ultraviolet, et dont les possibilités sont encore insoupçonnées. Puis, on analyse l'organisation de tous les instruments connus, dont certains ont atteint une complexité extraordinaire, en ne perdant jamais de vue les réalisations. Aussi les données numériques sont-elles accumulées et les exemples portant sur des cas concrets et ayant été suivis d'exécution, multipliés. Les règles auxquelles doivent satisfaire les projets sont ensuite tracées, ce sont les règles de l'optique géométrique puisque les projets ne peuvent être établis que d'après celles-ci. L'ouvrage est donc accessible à ceux qui n'ont pas fait de mathématiques élevées. En outre des schémas d'application, complets et sans hiatus, permettent de poursuivre d'une manière presque mécanique les longs calculs auxquels les projets donnent lieu.

Il s'agit donc d'un manuel de « génie optique », d'esprit original, différent entièrement des traités classiques en ce sens qu'il attribue une grande importance à l'optique géométrique plus qu'à l'optique physique. Il s'adresse en particulier aux constructeurs d'instruments d'optique, mais aussi aux autres industries qui utilisent constamment des instruments pour aider la vision naturelle. Les services de recherche et les laboratoires, publics et privés, les membres des sociétés astronomiques et photographiques, les microscopistes y trouveront également des renseignements intéressants. Enfin, l'optique étant au premier chef une industrie de guerre, ce livre sera utilisé avec profit par les laboratoires militaires.

Sommaire :

Matériaux utilisables pour la construction des systèmes optiques. Calculs de construction. Miroirs plans, prismes, lames planes et parallèles. Effets de la limitation des faisceaux, ouverture et champ. Limite de résolution. Perte de flux lumineux dans la traversée des instruments. L'œil et