

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 97 (1971)
Heft: 7

Artikel: Le chauffage des piscines en plein air
Autor: Hefti, Béda
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-71193>

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: 24.02.2026

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

Le chauffage des piscines en plein air

par Bêda HEFTI, ingénieur diplômé EPF/SIA, Payerne

1. Généralités

Des études de caractère économique et sociologique ont montré que, dans la hiérarchie des loisirs tournés vers l'activité physique, les classes jeunes de la population plaçaient au deuxième rang seulement le ski et au premier rang la natation. Ce sport jouit du reste d'une popularité croissante parmi les classes moins jeunes qui apprécient les bienfaits que sa pratique peut procurer. Pour cette raison la construction de piscines privées et publiques est en pleine expansion dans notre pays et elle donne ainsi la meilleure preuve de leur utilité.

La construction d'une piscine communale étant faite dans l'intérêt de la santé publique, au même titre que les hôpitaux, les écoles, les halles de gymnastique et les places de sport, le citoyen a le droit de demander que ses deniers servent à une réalisation rationnelle et si possible rentable. C'est ce qui nous amène à étudier le bilan thermique et indirectement les frais d'exploitation de trois piscines publiques récentes.

Nous devons constater que le climat de notre pays est caractérisé par son instabilité. Les périodes de beau temps sont souvent et brusquement interrompues par des séries

de jours pluvieux. En 1970 encore, nous avons pu faire cette constatation. Après une semaine de temps chaud à fin juin, suivait une semaine pluvieuse au début juillet. La température de l'eau des bassins, qui avait atteint d'une manière naturelle 24 à 25°C était redescendue après une semaine à 17-18°C. Il fallait de nouveau au moins 3 jours d'ensoleillement intense pour atteindre la température de 20 à 21°C, minimum exigé par le baigneur. Il s'ensuivait donc une baisse substantielle de la fréquentation, se traduisant par une moins-value des recettes. Si une piscine disposait d'un chauffage, la température de l'eau pouvait, dans ce cas, atteindre 22-23°C et l'affluence normale reprenait aux premiers rayons de soleil.

La présence d'un chauffage permet aussi d'étendre la saison de baignades à l'avant et à l'arrière-saison. Par temps ensoleillé au mois de mai, l'homme après avoir passé les froids de l'hiver est avide d'exposer son corps à l'air, de se bronzer et de nager dans l'eau tempérée à 24°C. En septembre, il aura la possibilité de continuer encore pendant un mois les baignades habituelles.

Les frais d'exploitation et la fréquentation dépendant étroitement des conditions météorologiques, il est donc intéressant de connaître quelques-unes de ces valeurs pour

TABLEAU 1
Moyenne journalière de la durée d'ensoleillement en heures (1961-1967)

| | L | Plus longue durée | | M Moyenne mensuelle | | C Plus courte durée | | | Moyenne |
|-------------------|---|-------------------|-----|---------------------|---------|---------------------|-----------|---------|---------|
| | | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | |
| Bâle | L | 6.9 | 7.0 | 9.4 | 10.6 | 9.9 | 7.3 | 4.9 | 8.0 |
| | M | 4.8 | 5.7 | 7.4 | 7.7 | 6.7 | 5.4 | 3.8 | 5.9 |
| | C | 3.7 | 4.8 | 5.3 | 5.0 | 4.9 | 4.0 | 2.0 | 4.2 |
| La Chaux-de-Fonds | L | 6.7 | 6.5 | 9.5 | 9.7 | 9.9 | 6.8 | 6.7 | 8.0 |
| | M | 4.1 | 5.6 | 6.9 | 7.7 | 6.7 | 5.7 | 5.1 | 6.0 |
| | C | 2.8 | 5.0 | 5.2 | 5.1 | 5.4 | 4.6 | 3.1 | 4.4 |
| Genève | L | 9.4 | 8.0 | 11.4 | 11.3 | 10.7 | 7.0 | 5.6 | 9.1 |
| | M | 5.8 | 7.3 | 8.6 | 9.9 | 8.3 | 6.2 | 3.9 | 7.1 |
| | C | 4.7 | 6.5 | 6.6 | 7.7 | 6.9 | 4.8 | 2.7 | 5.7 |
| Lausanne | L | 7.4 | 8.1 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 7.2 | 6.2 | 8.8 |
| | M | 5.7 | 6.9 | 6.5 | 7.8 | 7.6 | 5.9 | 4.4 | 6.4 |
| | C | 4.0 | 5.9 | 6.3 | 6.9 | 6.3 | 4.9 | 2.9 | 5.2 |
| Berne | L | 6.4 | 7.4 | 10.2 | 10.4 | 10.1 | 7.0 | 5.0 | 8.1 |
| | M | 4.6 | 6.3 | 7.6 | 8.2 | 7.1 | 5.7 | 4.1 | 6.2 |
| | C | 3.7 | 5.3 | 5.9 | 5.8 | 5.6 | 4.6 | 2.2 | 4.3 |
| Lucerne | L | 6.4 | 6.9 | 9.2 | 9.8 | 9.0 | 6.8 | 6.0 | 7.9 |
| | M | 4.6 | 5.6 | 7.1 | 7.2 | 6.2 | 5.1 | 3.3 | 5.6 |
| | C | 3.3 | 4.5 | 5.5 | 5.1 | 5.0 | 3.6 | 1.6 | 4.1 |
| Zurich | L | 6.6 | 7.5 | 9.6 | 10.3 | 9.8 | 7.4 | 6.4 | 8.2 |
| | M | 4.8 | 6.1 | 7.5 | 7.9 | 7.0 | 5.6 | 3.9 | 6.1 |
| | C | 3.9 | 5.1 | 5.4 | 5.8 | 5.3 | 4.3 | 1.7 | 4.5 |
| Saint-Gall | L | 6.3 | 6.5 | 7.7 | 8.8 | 8.3 | 6.7 | 5.8 | 7.2 |
| | M | 4.4 | 5.2 | 6.3 | 6.6 | 5.9 | 4.7 | 3.0 | 5.2 |
| | C | 3.2 | 3.6 | 4.8 | 4.4 | 4.4 | 3.0 | 1.2 | 3.4 |
| Lugano | L | 7.5 | 7.3 | 9.2 | 9.2 | 9.6 | 7.3 | 5.7 | 8.0 |
| | M | 5.7 | 6.4 | 7.6 | 8.4 | 7.8 | 6.1 | 4.7 | 6.7 |
| | C | 4.6 | 5.5 | 5.3 | 7.3 | 6.8 | 5.0 | 2.7 | 5.3 |

TABLEAU 2

Températures journalières moyennes en °C (1961-1967)

| | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre |
|-----------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|
| Aarau | 9.4 | 14.2 | 16.8 | 18.2 | 17.0 | 14.5 | 9.2 |
| Bâle | 10.0 | 13.2 | 17.0 | 18.5 | 17.4 | 15.3 | 10.5 |
| Berne | 9.1 | 11.2 | 16.6 | 18.2 | 17.2 | 14.9 | 9.8 |
| Bienne | 9.6 | 13.2 | 17.2 | 17.3 | 17.8 | 15.2 | 10.1 |
| Coire | 9.4 | 14.1 | 16.6 | 17.9 | 16.9 | 14.9 | 10.9 |
| Fribourg | 8.0 | 12.8 | 16.2 | 17.1 | 16.1 | 13.8 | 9.1 |
| Genève | 9.4 | 13.0 | 17.0 | 17.4 | 17.8 | 15.0 | 10.4 |
| Glaris | 9.0 | 12.3 | 15.7 | 16.9 | 16.2 | 14.1 | 9.8 |
| Lausanne | 9.5 | 14.2 | 16.8 | 18.7 | 16.4 | 15.3 | 10.8 |
| Lucerne | 9.1 | 12.3 | 16.3 | 19.3 | 16.9 | 16.0 | 9.8 |
| La Chaux-de-Fonds | 6.7 | 10.2 | 16.9 | 15.6 | 16.2 | 12.9 | 8.7 |
| Neuchâtel | 10.9 | 12.9 | 17.0 | 18.7 | 17.8 | 15.3 | 10.5 |
| Olten | 9.1 | 12.4 | 16.4 | 17.8 | 16.8 | 14.7 | 10.1 |
| Schaffhouse | 9.0 | 13.3 | 16.1 | 17.5 | 16.4 | 14.1 | 9.3 |
| Soleure | 9.5 | 12.9 | 16.9 | 18.4 | 18.8 | 14.9 | 9.8 |
| Saint-Gall | 8.0 | 11.0 | 15.0 | 16.7 | 17.0 | 13.6 | 8.9 |
| Winterthour | 9.2 | 12.2 | 16.2 | 16.2 | 16.7 | 14.1 | 9.5 |
| Zurich | 9.0 | 12.1 | 15.9 | 17.5 | 16.7 | 14.4 | 9.5 |
| | 163.9 | 227.5 | 296.6 | 317.9 | 306.1 | 263.0 | 176.7 |
| | 9.1 | 12.6 | 16.5 | 17.6 | 17.0 | 14.6 | 9.8 |

(Publié par la Centrale suisse de météorologie, Zurich.)

neuf villes importantes de notre pays. Les durées d'ensoleillement pour les mois d'avril à octobre de 1961 à 1967 sont indiquées dans le tableau 1.

Le tableau 2 donne les températures journalières moyennes d'avril à octobre pendant les années 1961-1967.

Les expériences démontrent que les frais d'exploitation supplémentaires résultant du chauffage de l'eau des bassins sont, d'une année à l'autre, compensés par l'augmentation du nombre des entrées tout en donnant une meilleure répartition de la fréquentation.

L'amélioration de l'utilisation des piscines n'a pas qu'une valeur économique ; des raisons d'hygiène, d'entraînement, de sécurité plaident aussi en faveur d'une prolongation de la période d'ouverture des piscines chauffées. Les lacs, les plans d'eau naturels sont de plus en plus interdits aux baigneurs à cause de leur degré de pollution. La natation est un sport en plein essor dans notre pays et il mérite d'être encouragé.

L'étude des frais d'exploitation qui suit est basée sur les besoins thermiques de trois piscines, situées dans des régions et à des altitudes différentes. Il s'agit des piscines publiques de Sainte-Croix, Renens et Payerne. Les deux premières sont chauffées par des générateurs à gaz à combustion submergée, solution habituellement adoptée grâce à son rendement intrinsèque de 97 % calculé par rapport au pouvoir calorifique supérieur. La troisième est équipée de deux chaudières à électrodes.

Les caractéristiques principales des piscines étudiées sont récapitulées dans le tableau 4.

2. Calcul calorifique des piscines en plein air

2.1 Période de remplissage des bassins

2.11 Chauffage initial de l'eau

$$Q_{2.11} = V \cdot (t_e - t_o) \cdot 10^{-3} \quad \text{Gcal} = 10^6 \text{ kcal}$$

V = volume d'eau des bassins en m^3

t_o = température de l'eau d'apport (9 à 12°C)

t_e = température de l'eau des bassins (22 à 24°C)

2.12 Chauffage initial, par convection, des bassins en maçonnerie

Il comporte la hausse de la température de 9,5 à 24°C des murs et des fonds en béton, plus l'empierrement derrière les murs et sous la dalle de fond.

La chaleur spécifique d'un kilo de béton est estimée dans nos calculs à 0,2 kcal/kg°C.

Poids de la maçonnerie par mètre carré :

$$\text{béton} \quad 0,2 \cdot 2,4 * = 0,48 \text{ t/m}^2$$

$$\text{gravier} \quad 0,3 \cdot 2,0 * = 0,60 \text{ t/m}^2$$

$$1,08 \text{ t/m}^2$$

* épaisseur \times poids spécifique

Chaleur nécessaire pour élever de 13 à 24°C, respectivement de 9,5 à 24°C, un m^2 de maçonnerie :

$$Q_{2.12} = 1080 \cdot (24 - 12) \cdot 0,2 = 2376 \text{ kcal/m}^2 \text{ valable pour Payerne et Renens}$$

$$Q_{2.12} = 1080 \cdot (24 - 9,5) \cdot 0,2 = 3132 \text{ kcal/m}^2 \text{ valable pour Sainte-Croix}$$

2.2 Période d'exploitation

2.21 Pertes de chaleur par rayonnement de la surface de l'eau

$$Q_{2.21} = S(t_e - t_a) \cdot \alpha \quad \text{kcal/h}$$

S = surface des plans d'eau, m^2

t_e = température maximale de l'eau, 24°C

t_a = température de l'air, °C

α = coefficient de transmission : 3,2 kcal/ $\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

2.22 Pertes de chaleur par convection au travers de la maçonnerie

$$Q_{2.22} = S(t_e - t_T) \cdot \alpha_c \quad \text{kcal/h}$$

S = surface de contact entre eau et murs et fonds des bassins, m^2

t_e = température maximale de l'eau, 24°C

t_T = température du terrain, 6°C

α_c = coefficient de transmission de chaleur, kcal/ $\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

Pour tous les bassins :

$$Q_{2.22} = (24-6) \cdot 1,6 = 28,8 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

en avril et septembre

$$Q_{2.22} = (24-6) \cdot 0,55 = 10,0 \text{ kcal/m}^2\text{h en juillet}$$

2.23 Pertes de chaleur par évaporation de l'eau

Cette perte importante dépend principalement de la vitesse du vent et elle est calculée à l'aide d'une formule de Dalton.

$$Q_{2.23} = \frac{45,6 \cdot C(P_e - P_a)}{B} \cdot 585 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

C = coefficient caractérisant la vitesse et la fréquence du vent

P_e = pression de vapeur de l'eau en mmHg

P_a = pression de vapeur de l'air en mmHg

B = pression barométrique en mmHg

585 kcal/kg = chaleur latente de vaporisation de l'eau

La perte de chaleur par évaporation varie chaque mois sur la base de la température moyenne et du degré d'humidité de l'air.

2.24 Pertes de chaleur par éclaboussures provoquées par les baigneurs

Elles sont naturellement proportionnelles au nombre de baigneurs.

$$Q_{2.24} = \text{Mai} \quad 10 \text{ kcal/m}^2\text{h selon expériences}$$

$$\text{Juin} \quad 30 \quad \gg \quad \gg \quad \gg$$

$$\text{Juillet} \quad 40 \quad \gg \quad \gg \quad \gg$$

$$\text{Août} \quad 25 \quad \gg \quad \gg \quad \gg$$

$$\text{Septembre} \quad 10 \quad \gg \quad \gg \quad \gg$$

2.25 Chauffage de l'eau de renouvellement

Taux de renouvellement journalier 2 % du volume du bassin V .

Eau d'apport 10°C. Eau du bassin 24°C. Durée d'exploitation 153 jours.

$$Q_{2.25} = 0,04284 \cdot V \text{ Gcal}$$

$$\text{Sainte-Croix } V = 1250 \text{ m}^3 \quad Q_{2.25} = 53,6 \text{ Gcal}$$

$$\text{Renens } V = 4588 \text{ m}^3 \quad = 196,5 \text{ Gcal}$$

$$\text{Payerne } V = 3089 \text{ m}^3 \quad = 132,3 \text{ Gcal}$$

2.3 Gains de chaleur pendant la période d'exploitation

2.31 Gain de chaleur dû à l'ensoleillement

Le soleil produit un échauffement important de l'eau de la piscine. La chaleur recueillie sur une plaque hori-

zontale noircie, a donné 1100 kcal/m²h. Une bonne partie de cette énergie n'est pas récupérable étant absorbée par l'air et la poussière. Pour une piscine bien exposée la chaleur retenue par la surface d'eau peut être estimée à 600-700 kcal/m²h.

Nous avons observé que l'eau d'une piscine, d'une profondeur moyenne de 2 m, augmentait de 2,5°C par une journée ensoleillée, ce qui donne un gain de chaleur, pour un volume de 2 m³, de 5000 kcal ; pour un ensoleillement de 8 heures le gain horaire serait de 625 kcal/m²h ou calculé sur les 24 h de 208 kcal/m²h. Le calcul ci-dessous semble se justifier.

TABLEAU 3

Piscine de Renens

Heures d'ensoleillement selon la statistique de l'office météorologique fédéral, moyenne 1931-1961

| Mois | Heures d'ensoleill. | Surface d'eau | Gain de chaleur Q2.31 | | |
|---------------|---------------------|----------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| | | | par heure | par mois | Moyenne horaire |
| | h | m ² | kcal/m ² h | Gcal | kcal/m ² h |
| Mai | 228 | 2648 | 650 | 392 | 198 |
| Juin | 247 | 2648 | 700 | 458 | 240 |
| Juillet . . . | 271 | 2648 | 680 | 488 | 247 |
| Août | 242 | 2648 | 650 | 417 | 211 |
| Septembre . | 186 | 2648 | 600 | 295 | 154 |

Total

2050 Gcal

$$\text{Moyenne par saison} = \frac{2050 \cdot 10^6}{153 \cdot 24 \cdot 2648} = 210 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

2.32 Gain de chaleur dû aux baigneurs

| | | |
|-------|-----------|---------------------------|
| Q2.32 | Mai | 80 kcal/m ² h |
| | Juin | 90 kcal/m ² h |
| | Juillet | 100 kcal/m ² h |
| | Août | 90 kcal/m ² h |
| | Septembre | 60 kcal/m ² h |

Baromètre :

Vitesse du vent :

Sainte-Croix 640 mmHg

$C = 0,50$

Renens 716 mmHg

$C = 0,55$

Payerne 709 mmHg

$C = 0,60$

} formule de Dalton

TABLEAU 4

Caractéristiques principales des piscines de Sainte-Croix, Renens et Payerne

| Localité et altitude | Volume d'eau | Surface d'eau | Surface murs + fonds | Facteur $\frac{V}{S}$ | Température moyenne journalière | | | | | Energie ¹ |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|------|---------|------|-------|---|
| | | | | | Mai | Juin | Juillet | Août | Sept. | |
| m/mer | m ³ | m ² | m ² | m | °C | °C | °C | °C | °C | |
| Sainte-Croix 1130 | 1250 | 650 | 809 | 1,92 | 9,5 | 12,4 | 14,1 | 13,6 | 10,8 | Air propane 6500 kcal/Nm ³ |
| Renens 416 | 4588 | 2648 | 3314 | 1,73 | 13,0 | 16,2 | 18,2 | 17,6 | 14,5 | Gaz de ville 4200 kcal/Nm ³ |
| Payerne 480 | 3089 | 1920 | 2245 | 1,61 | 13,0 | 16,2 | 18,6 | 17,9 | 14,7 | Electricité 1 kWh = 860 kcal |

1) Pouvoir calorifique supérieur à 0°C-760 mmHg = PC_s

PISCINE DE PAYERNE

ECHELLE
0 10 20 30 40 50 m

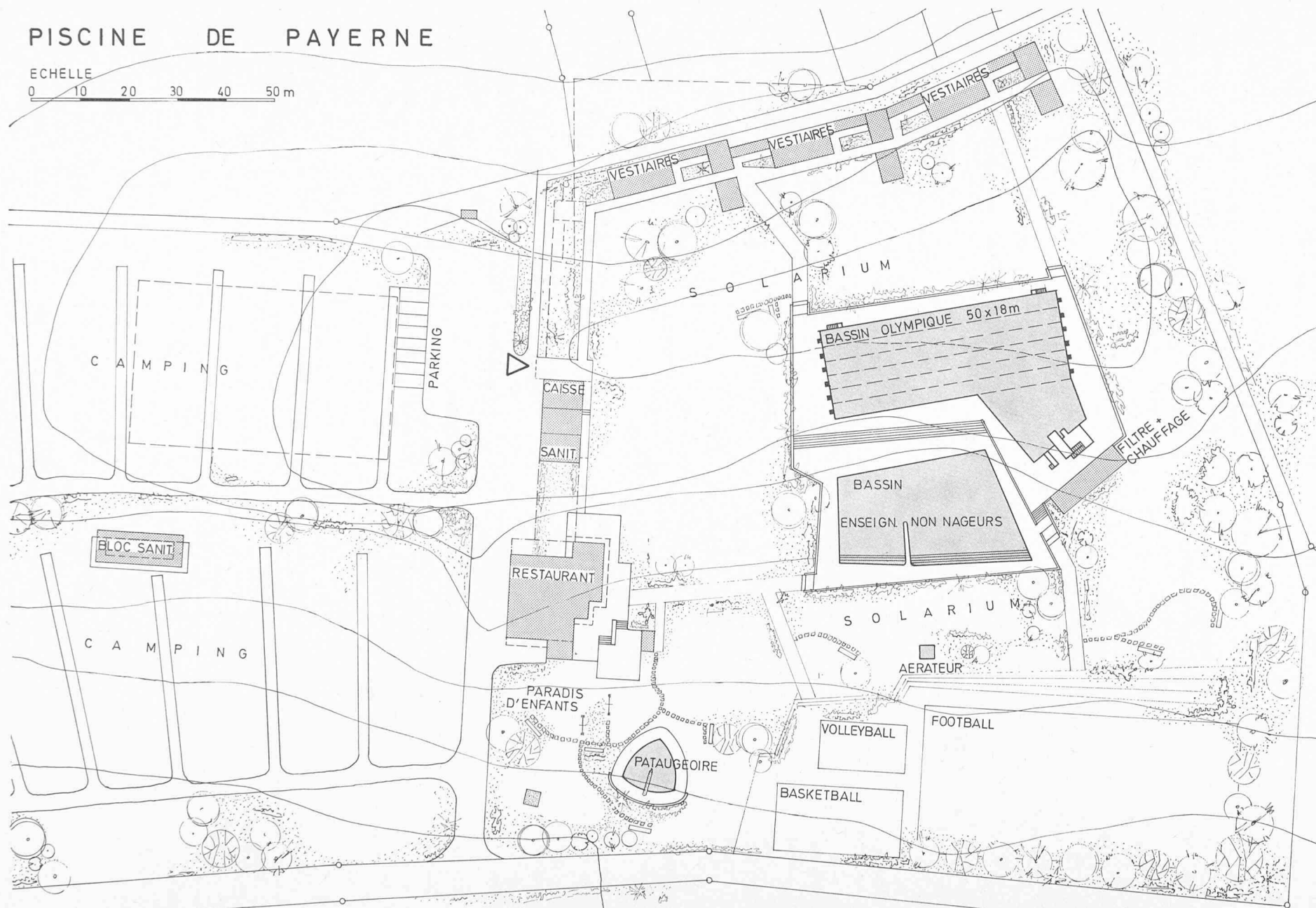


Fig. 1. — Piscine de Payerne : plan de situation.

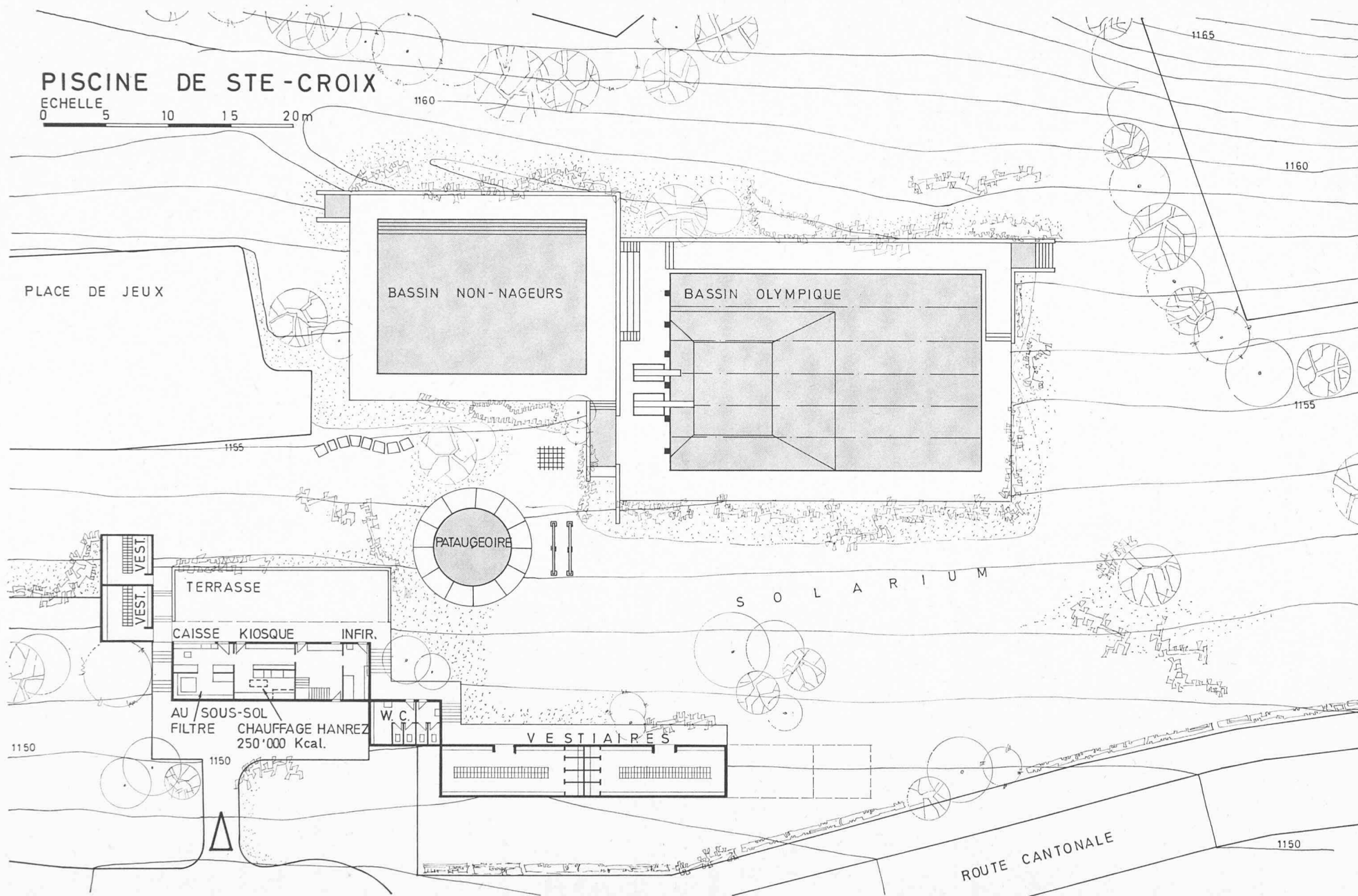


Fig. 2. — Piscine de Sainte-Croix : plan de situation.

TABLEAU 5

Pertes de chaleur par évaporation de l'eau

Piscine de Sainte-Croix

$$Q_{2.23} = \frac{45,6 \cdot C \cdot (P_e - P_a)}{B} \cdot 585 = K (P_e - P_a) \quad K = \frac{45,6 \cdot 0,50 \cdot 585}{640} = 20,84$$

Humidité relative 60 % S = 650 m²

| Mois | t_e °C | P_e mmHg | t_a °C | P_a mmHg | $P_e - P_a$ mmHg | Q2.23 kcal/m²h | $s \cdot h \cdot j$ | $\Sigma Q_{2.23} \cdot s \cdot h \cdot j$ |
|---|-------------|---------------|-------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|---|
| Mai | 24° | 22,18 | 9,5 | 5,27 | 16,91 | 352 | 483 600 | 170 Gcal |
| Juin | | | 12,4 | 6,40 | 15,78 | 329 | 468 000 | 154 Gcal |
| Juillet | | | 14,1 | 7,20 | 14,98 | 312 | 483 600 | 151 Gcal |
| Août | | | 13,6 | 6,80 | 15,38 | 320 | 483 600 | 155 Gcal |
| Septembre | | | 10,8 | 5,80 | 16,38 | 341 | 468 000 | 160 Gcal |
| Total des pertes de chaleur par évaporation et par saison | | | | | | | | 790 Gcal |

TABLEAU 6

Pertes de chaleur par évaporation de l'eau

Piscine de Renens

$$Q_{2.23} = \frac{45,6 \cdot C \cdot (P_e - P_a)}{B} \cdot 585 = K (P_e - P_a) \quad K = \frac{45,6 \cdot 0,55 \cdot 585}{716} = 20,5$$

Humidité relative 60 % S = 2 648 m²

| Mois | t_e °C | P_e mmHg | t_a °C | P_a mmHg | $P_e - P_a$ mmHg | Q2.23 kcal/m²h | $s \cdot h \cdot j$ | $\Sigma Q_{2.23} \cdot s \cdot h \cdot j$ |
|---|-------------|---------------|-------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|---|
| Mai | 24° | 22,18 | 13 | 6,34 | 15,84 | 325 | 1 970 112 | 640 Gcal |
| Juin | | | 16,2 | 8,21 | 13,97 | 286 | 1 906 560 | 545 Gcal |
| Juillet | | | 18,2 | 9,38 | 12,80 | 262 | 1 970 112 | 516 Gcal |
| Août | | | 17,6 | 9,0 | 13,83 | 270 | 1 970 112 | 532 Gcal |
| Septembre | | | 14,5 | 7,35 | 141,8 | 304 | 1 906 560 | 580 Gcal |
| Total des pertes de chaleur par évaporation et par saison | | | | | | | | 2813 Gcal |

TABLEAU 7

Pertes de chaleur par évaporation de l'eau

Piscine de Payerne

$$Q_{2.23} = \frac{45,6 \cdot C \cdot (P_e - P_a)}{B} \cdot 585 = K (P_e - P_a) \quad K = \frac{45,6 \cdot 0,60 \cdot 585}{709} = 22,6$$

Humidité relative 60 % S = 1920 m²

| Mois | t_e °C | P_e mmHg | t_a °C | P_a mmHg | $P_e - P_a$ mmHg | Q2.23 kcal/m²h | $s \cdot h \cdot j$ | $\Sigma Q_{2.23} \cdot s \cdot h \cdot j$ |
|---|-------------|---------------|-------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|---|
| Mai | 24° | 22,18 | 13 | 6,34 | 15,84 | 358 | 1 428 480 | 511 Gcal |
| Juin | | | 16,2 | 8,21 | 13,97 | 316 | 1 382 400 | 437 Gcal |
| Juillet | | | 18,6 | 9,50 | 12,68 | 287 | 1 428 480 | 410 Gcal |
| Août | | | 17,9 | 9,20 | 12,98 | 293 | 1 428 480 | 419 Gcal |
| Septembre | | | 14,7 | 7,45 | 14,73 | 333 | 1 382 400 | 460 Gcal |
| Total des pertes de chaleur par évaporation et par saison | | | | | | | | 2237 Gcal |

2.4 Calcul des déperditions de chaleur et bilans thermiques

Tenant compte de ce qui précède, nous allons étudier les besoins calorifiques des piscines de Sainte-Croix, Renens et Payerne.

Q2.11 Chauffage initial de l'eau avec Δt 14°C

| | |
|--------------|---|
| Sainte-Croix | $1250 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 17,5$ Gcal |
| Renens | $4588 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 64,2$ Gcal |
| Payerne | $3089 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 42,3$ Gcal |

Q2.12 Chauffage initial, par convection, des bassins en maçonnerie

| | |
|--------------|---|
| Sainte-Croix | $809 \cdot 3132 \cdot 10^{-6} = 2,53$ Gcal |
| Renens | $3314 \cdot 2376 \cdot 10^{-6} = 7,87$ Gcal |
| Payerne | $2245 \cdot 2376 \cdot 10^{-6} = 5,33$ Gcal |

Q2.21 Pertes de chaleur par rayonnement de la surface de l'eau

| | |
|-------------------|------------------|
| Heures mensuelles | 30 jours = 720 h |
| | 31 jours = 744 h |

| Mois | Sainte-Croix | Renens | Payerne |
|-------------------|--------------|-----------|-----------|
| Mai | 22,4 Gcal | 69,3 Gcal | 50,3 Gcal |
| Juin | 17,4 Gcal | 47,6 Gcal | 34,5 Gcal |
| Juillet | 15,3 Gcal | 36,6 Gcal | 24,7 Gcal |
| Août | 16,1 Gcal | 40,3 Gcal | 27,9 Gcal |
| Septembre . . | 19,8 Gcal | 58,0 Gcal | 41,4 Gcal |

2.44 Interprétation des résultats (Tabl. 8-9-10)

Ces résultats, calculés sur des bases scientifiques, démontrent bien l'influence

- 1) de la topographie du terrain,
- 2) de la vitesse et de la fréquence des vents,
- 3) de l'ensoleillement, donné par la situation topographique et l'altitude,
- 4) de la température et de l'humidité relative de l'air,
- 5) de la situation climatique.

Les facteurs prépondérants sont l'évaporation à la surface de l'eau et l'ensoleillement. Pour une étude de chauffage, il est indispensable d'être documenté préalablement sur les points cités plus haut.

2.41 TABLEAU 8

Bilan thermique — Piscine de Sainte-Croix

| | | | |
|-------------------------|----------------------|---|------|
| Volume d'eau | 1 250 m ³ | Eau d'apport | 10°C |
| Surface d'eau | 650 m ² | Eau de la piscine | 24°C |
| Surface parois et fonds | 809 m ² | S · h = 468 000 et 483 600 m ² h | |

| Mois | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre |
|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Température journalière moyenne. | 9,5°C | 12,4°C | 14,1°C | 13,6°C | 10,8°C |
| <i>Déperdition de chaleur :</i> | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h |
| Q2.21 rayonnement de la surface d'eau | 46 | 37 | 32 | 33 | 42 |
| Q2.22 convection mur, fond et terre. | 29 | 20 | 10 | 20 | 25 |
| Q2.23 évaporation de l'eau. | 352 | 329 | 312 | 320 | 342 |
| Q2.24 éclaboussures. | 10 | 30 | 40 | 25 | 10 |
| Q2.25 renouvellement de l'eau 2 % | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| Total déperdition de chaleur | 459 | 438 | 416 | 420 | 441 |
| <i>Gains de chaleur :</i> | | | | | |
| Q2.31 ensoleillement | 220 | 250 | 260 | 240 | 180 |
| Q2.32 chaleur des baigneurs | 80 | 90 | 100 | 90 | 60 |
| Total des gains | 300 | 340 | 360 | 330 | 240 |
| Solde de chaleur à couvrir en kcal/m ² h | 159 | 98 | 56 | 90 | 201 |
| Total chaleur à couvrir par mois Gcal. | 77 | 46 | 27 | 46 | 94 |
| Total par saison | 290 Gcal | | | | |
| Q2.11 + Q2.12 chauffage initial de l'eau et du bassin | 20 Gcal | | | | |
| Total chaleur à couvrir par année normale | <u>310 Gcal</u> (100 %) | | | | |
| <i>Pour une année défavorable :</i> | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h |
| Diminution des gains de chaleur 20 % | 240 | 272 | 288 | 264 | 192 |
| Solde de chaleur en kcal/m ² h | 219 | 166 | 128 | 156 | 249 |
| Par mois en Gcal. | 106 | 78 | 62 | 75 | 117 |
| Total par saison | 438 Gcal | | | | |
| Q2.11 + Q2.12 chauffage initial de l'eau et du bassin | 20 Gcal | | | | |
| Total chaleur à couvrir par année défavorable . . . | <u>458 Gcal</u> (148 %) | | | | |

2.42 TABLEAU 9

Bilan thermique — Piscine de Renens

| | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------------|---|
| Volume d'eau | 4 588 m ³ | Eau d'apport | 10°C |
| Surface d'eau | 2 648 m ² | Eau de la piscine | 24°C |
| Surface parois et fonds | 3 314 m ² | S · h | = 1 906 560 et 1 970 112 m ² h |

| Mois | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre |
|---|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Température journalière moyenne | 13,0°C | 16,2°C | 18,2°C | 17,6°C | 14,5°C |
| <i>Déperdition de chaleur :</i> | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h |
| Q2.21 rayonnement de la surface d'eau | 35 | 25 | 19 | 21 | 30 |
| Q2.22 convection mur, fond et terre | 29 | 20 | 10 | 20 | 25 |
| Q2.23 évaporation de l'eau | 325 | 286 | 262 | 270 | 304 |
| Q2.24 éclaboussures | 10 | 30 | 40 | 25 | 10 |
| Q2.25 renouvellement de l'eau 2 % | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Total déperdition de chaleur | 419 | 381 | 351 | 356 | 389 |
| <i>Gains de chaleur :</i> | | | | | |
| Q2.31 ensoleillement | 198 | 240 | 247 | 211 | 154 |
| Q2.32 chaleur des baigneurs | 80 | 90 | 100 | 90 | 60 |
| Total des gains | 278 | 330 | 347 | 301 | 214 |
| Solde de chaleur à couvrir en kcal/m ² h | 141 | 51 | 4 | 55 | 175 |
| Total chaleur à couvrir par mois Gcal | 278 | 97 | 8 | 108 | 334 |
| Total par saison | 825 Gcal | | | | |
| Q2.11 + Q2.12 chauffage initial de l'eau et du bassin | 72,1 Gcal | | | | |
| Total chaleur à couvrir par année normale | <u>897,1 Gcal</u> (100 %) | | | | |
| <i>Pour une année défavorable :</i> | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h |
| Diminution des gains de chaleur de 20 % | 222 | 264 | 278 | 241 | 171 |
| Solde de chaleur en kcal/m ² h | 197 | 117 | 73 | 115 | 218 |
| Par mois en Gcal | 388 | 223 | 144 | 227 | 416 |
| Total par saison | 1 398 Gcal | | | | |
| Q2.11 + Q2.12 chauffage initial de l'eau et du bassin | 72,1 Gcal | | | | |
| Total chaleur à couvrir par année défavorable | <u>1 470,1 Gcal</u> (164 %) | | | | |

2.45 Méthodes empiriques pour le calcul des pertes calorifiques

Les fournisseurs de chaudières, par exemple Buderus (Allemagne), donnent des tableaux valables pour des piscines standard. Nous avons comparé ces résultats avec ceux des piscines de Sainte-Croix, Renens et Payerne et nous avons trouvé des différences de $\pm 30\%$ en ce qui concerne les dépenses calorifiques.

La maison Hanrez (Belgique) fournit les générateurs à gaz à combustion submergée qui, à notre avis, sont le meilleur système existant. Elle donne la formule suivante pour déterminer la dépense calorifique par saison :

$$Q_{\text{total}} = \Sigma(t_a - t_e) \cdot h \cdot S \cdot K$$

t_a = température moyenne mensuelle de l'air

t_e = température désirée de l'eau de la piscine

h = nombre d'heures de fonctionnement

S = surface d'eau

K = un facteur qui tient compte des conditions climatiques, spécialement de la vitesse du vent et qui varie de 8-13 kcal/m²h °C.

Pour une température constante de 21°C à la piscine de Renens, cette maison a trouvé pour la perte de chaleur du 1^{er} mai au 30 septembre : 650 Gcal,

Si l'on corrige la température de l'eau à 24°C, comme nous l'avons calculé (voir tableau 6), on obtient :

| | | |
|-----------|--------------|------------------------------|
| Mai | 744 · 11,0 = | 8 184 h °C (31 · 24 = 744 h) |
| Juin | 720 · 7,8 = | 5 616 h °C (30 · 24 = 720 h) |
| Juillet | 744 · 5,8 = | 4 315 h °C |
| Août | 744 · 6,4 = | 4 761 h °C |
| Septembre | 720 · 9,5 = | 6 840 h °C |
| au total | | <u>29 716 h °C</u> |

$$Q_{\text{par saison}} = 29\,716 \cdot 2\,648 \cdot 13 \cdot 10^{-6} = 1023 \text{ Gcal.}$$

Comparé avec notre calcul détaillé (voir tableau 9) : 825 Gcal pour une année normale et 1398 Gcal pour une année défavorable avec un déficit d'ensoleillement de 20 %, sans compter le chauffage initial de l'eau et du bassin, le résultat est donc acceptable.

Si l'on tient compte encore du chauffage initial de l'eau et du bassin on obtient :

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| chaleur de base pour 24°C | 1023 Gcal |
| chauffage initial de l'eau Q2.11 | 64,20 Gcal |
| chauffage initial du bassin Q2.12 | 7,87 Gcal |
| 2 % renouvellement Q2.25 | <u>196,50 Gcal</u> |
| | 268,57 Gcal |
| | <u>1291,57 Gcal</u> |

2.43 TABLEAU 10

Bilan thermique — Piscine de Payerne

Volume d'eau 3 089 m³ Eau d'apport 10°C
 Surface d'eau 1 920 m² Eau de la piscine 24°C
 Surface parois et fonds 2 245 m² S · h = 1 382 400 et 1 428 480 m²h

| Mois | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre |
|---|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Température journalière moyenne | 13,0°C | 16,2°C | 18,6°C | 17,9°C | 14,7°C |
| <i>Déperdition de chaleur :</i> | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h |
| Q2.21 rayonnement de la surface d'eau | 35 | 25 | 17 | 19 | 30 |
| Q2.22 convection mur, fond et terre | 29 | 20 | 10 | 20 | 25 |
| Q2.23 évaporation de l'eau | 358 | 316 | 287 | 293 | 333 |
| Q2.24 éclaboussures | 10 | 30 | 40 | 25 | 10 |
| Q2.25 renouvellement de l'eau 2 % | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Total déperdition de chaleur | 451 | 410 | 373 | 376 | 417 |
| <i>Gains de chaleur :</i> | | | | | |
| Q2.31 ensoleillement | 190 | 210 | 235 | 200 | 140 |
| Q2.32 chaleur des baigneurs | 80 | 90 | 100 | 90 | 60 |
| Total des gains | 270 | 300 | 335 | 290 | 200 |
| Solde de chaleur à couvrir en kcal/m ² | 181 | 110 | 38 | 86 | 217 |
| Total chaleur à couvrir par mois Gcal | 259 | 152 | 54 | 123 | 300 |
| Total par saison | 888 Gcal | | | | |
| Q2.11 + Q2.12 chauffage initial de l'eau et du bassin | 47,6 Gcal | | | | |
| Total chaleur à couvrir par année normale | <u>935,6 Gcal (100 %)</u> | | | | |
| <i>Pour une année défavorable :</i> | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h | kcal/m ² h |
| Diminution des gains de chaleur de 20 % | 216 | 240 | 268 | 232 | 160 |
| Solde de chaleur en kcal/m ² h | 235 | 170 | 105 | 144 | 257 |
| Par mois en Gcal | 336 | 235 | 150 | 206 | 355 |
| Total par saison | 1 282 Gcal | | | | |
| Q2.11 + Q2.12 chauffage initial de l'eau et du bassin | 47,6 Gcal | | | | |
| Total chaleur à couvrir par année défavorable | <u>1 329,6 Gcal (142 %)</u> | | | | |

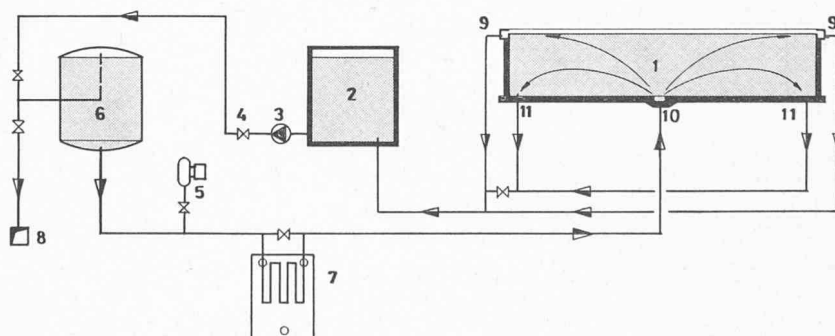
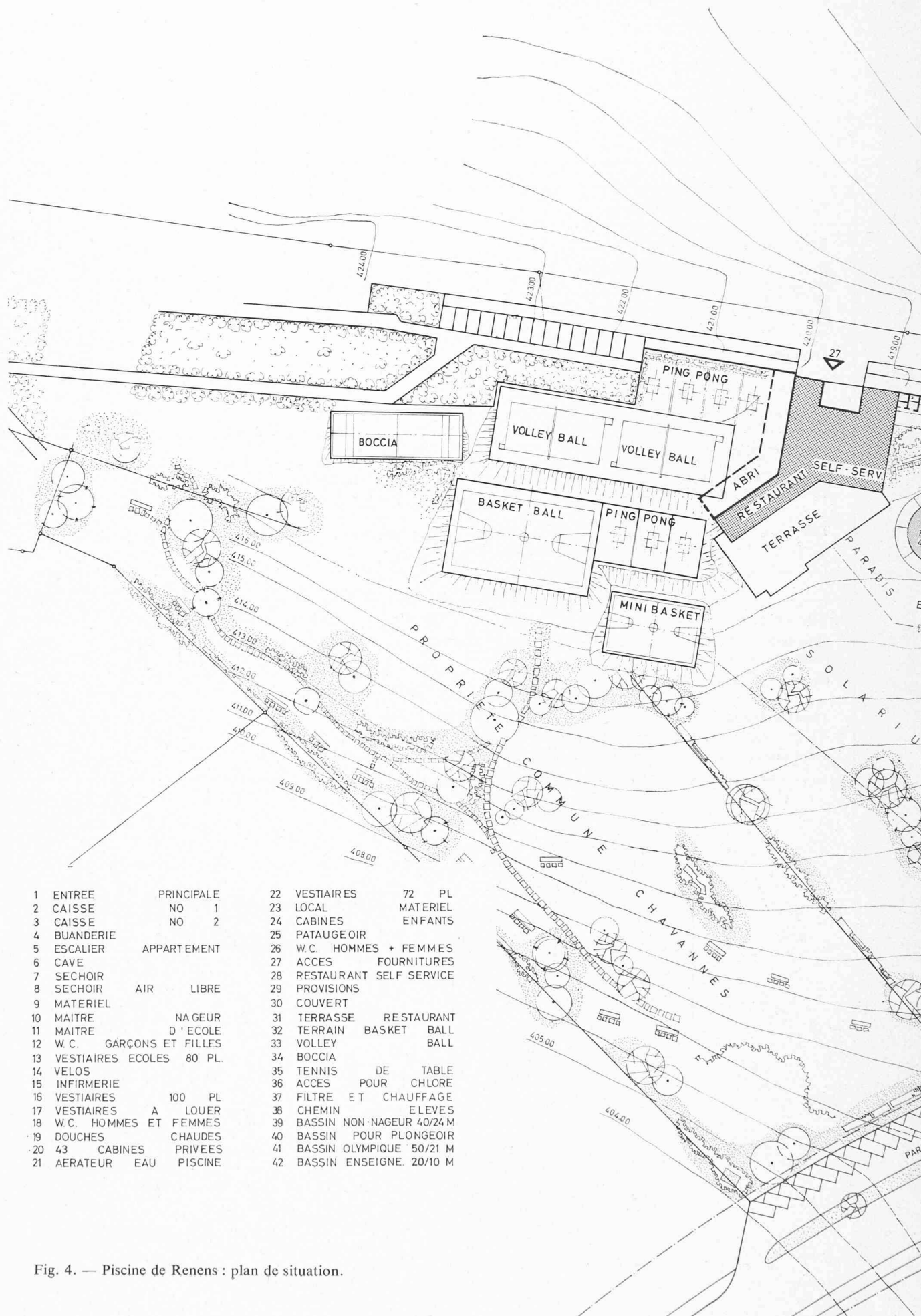
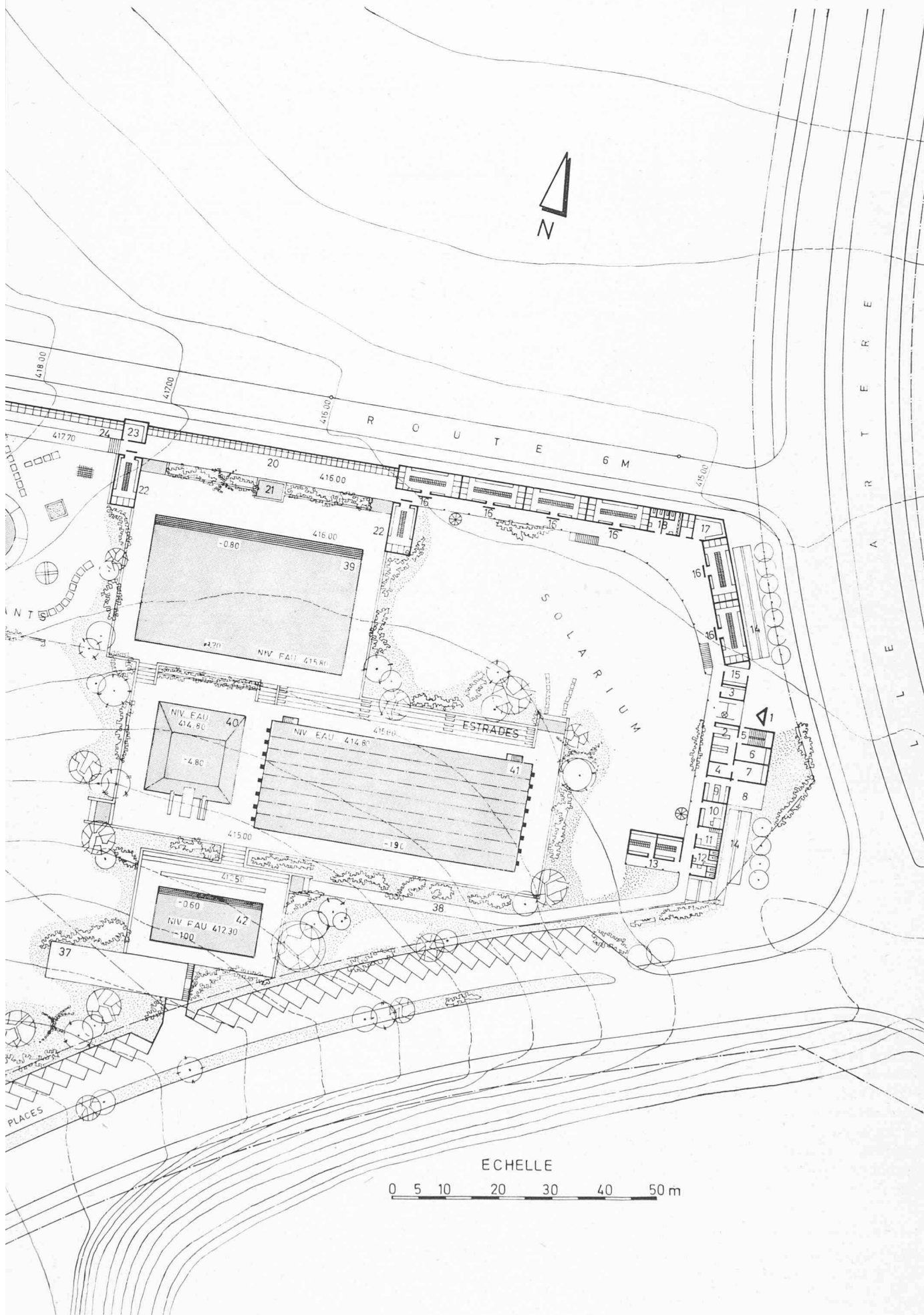


Fig. 3. — Schéma de chauffage et de cyclage de l'eau d'une piscine avec un seul bassin.

1. Piscine
2. Bassin-tampon
3. Pompe de cyclage
4. Vanne de réglage
5. Compresseur
6. Filtre à sable au cellite
7. Chaudière
8. Egout
9. Surflots
10. Canal d'alimentation
11. Crépines de fond



| | | | | | |
|----|-----------------------|-------------------|----|----------------------|----------------|
| 1 | ENTREE | PRINCIPALE | 22 | VESTIAIRES | 72 PL |
| 2 | CAISSE | NO 1 | 23 | LOCAL | MATERIEL |
| 3 | CAISSE | NO 2 | 24 | CABINES | ENFANTS |
| 4 | BUANDERIE | | 25 | PATAUGEOR | |
| 5 | ESCALIER | APPARTEMENT | 26 | W.C. HOMMES + FEMMES | |
| 6 | CAVE | | 27 | ACCES | FOURNITURES |
| 7 | SECHOIR | | 28 | RESTAURANT | SELF SERVICE |
| 8 | SECHOIR | AIR LIBRE | 29 | PROVISIONS | |
| 9 | MATERIEL | | 30 | COUVERT | |
| 10 | MAITRE | NA GEUR | 31 | TERRASSE | RESTAURANT |
| 11 | MAITRE | D'ECOLE | 32 | TERRAIN | BASKET BALL |
| 12 | W.C. | GARÇONS ET FILLES | 33 | VOLLEY | BALL |
| 13 | VESTIAIRES ECOLES | 80 PL. | 34 | BOCCIA | |
| 14 | VELOS | | 35 | TENNIS | DE TABLE |
| 15 | INFIRMERIE | | 36 | ACCES | POUR CHLORE |
| 16 | VESTIAIRES | 100 PL | 37 | FILTRE ET | CHAUFFAGE |
| 17 | VESTIAIRES | A LOUER | 38 | CHEMIN | ELEVES |
| 18 | W.C. HOMMES ET FEMMES | | 39 | BASSIN NON-NAGEUR | 40/24 M |
| 19 | DOUCHES | CHAUDES | 40 | BASSIN | POUR PLONGEOIR |
| 20 | 43 CABINES | PRIVEES | 41 | BASSIN OLYMPIQUE | 50/21 M |
| 21 | AERATEUR | EAU PISCINE | 42 | BASSIN ENSEIGNE | 20/10 M |



ECHELLE
0 5 10 20 30 40 50 m

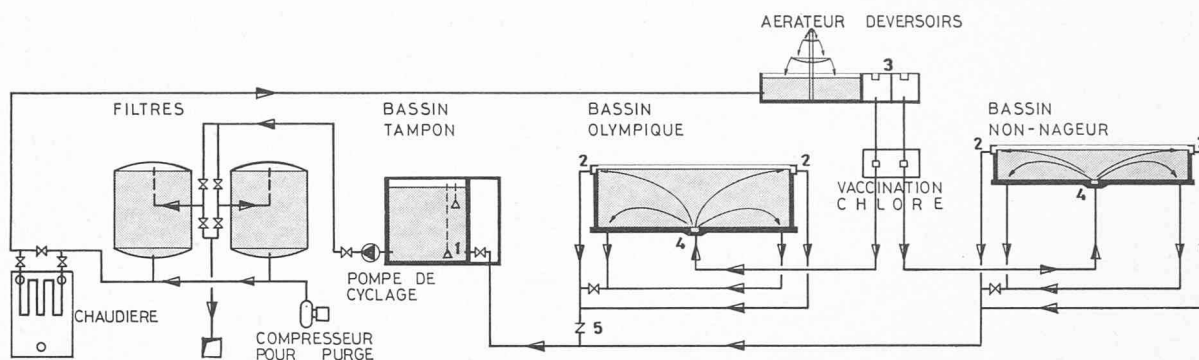


Fig. 5. — Schéma de chauffage et de cyclage de l'eau pour plusieurs bassins.

1. Vanne électrique commandée par flotteurs
2. Surflots
3. Déversoir distributeur
4. Canal d'alimentation
5. Clapet de retenue

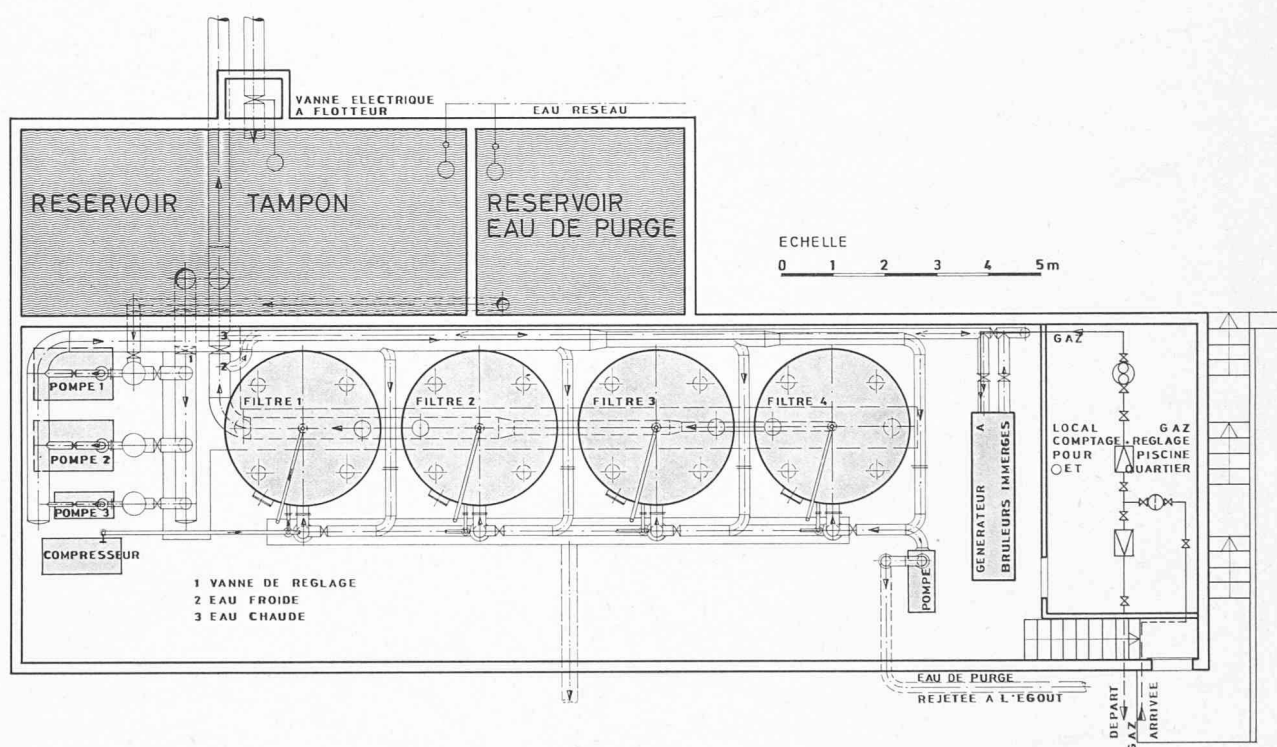


Fig. 6. — Piscine de Renens : station de filtrage et de chauffage.

Nous voyons que pour un renouvellement de l'eau de 2 % et une température de 24°C, y compris la période de préchauffage de l'eau et le chauffage initial du bassin par convection, Hanrez donne la valeur corrigée ci-dessus de 1291,57 Gcal. Le calcul du tableau 9 montre que la chaleur dépensée durant une année normale est de 897,1 Gcal tandis qu'elle est de 1470,1 Gcal lors d'une année défavorable. Ainsi Hanrez tient compte dans ses calculs d'une année moyenne à défavorable ce qui donne une marge de sécurité.

2.46 Puissance et vitesse de chauffage

Pour déterminer la puissance de chauffage à installer, il faut prendre en considération :

- 1) la puissance spécifique en kcal/m²h,

- 2) la vitesse de chauffage en °C/h de l'eau de la piscine après le remplissage initial.

Ces valeurs, pour les trois piscines, sont récapitulées dans le tableau 11.

Le chauffage de l'eau de la piscine de Payerne doit être fait de nuit, les Entreprises Electriques Fribourgeoises ayant accordé, dans ce cas, des conditions particulières soit 3 cts/kWh.

Ce bas tarif est à disposition du vendredi soir à 22.00 h au lundi à 06.00 h, soit pendant 56 heures. Après ce laps de temps, il sera nécessaire de continuer à chauffer avec le haut tarif jusqu'à ce que les 78,5 h calculées soient atteintes. C'est naturellement un inconvénient propre à l'énergie électrique car le haut tarif de jour, appliqué à la piscine de Payerne est 2,5 fois plus élevé que le tarif de nuit.

TABLEAU 11

| N | Désignations | Calcul | Unités | Sainte-Croix | Renens | Payerne |
|---|--|--------------------------|-----------------------|---|--|--|
| | | | | $S = 650 \text{ m}^2$ $V = 1250 \text{ m}^3$ $h = 1,92 \text{ m}$ | $S = 2648 \text{ m}^2$ $V = 4588 \text{ m}^3$ $h = 1,73 \text{ m}$ | $S = 1920 \text{ m}^2$ $V = 3089 \text{ m}^3$ $h = 1,61 \text{ m}$ |
| 1 | Puissance spécifique (tableaux 8, 9 et 10) année favorable — Mai/Septembre | — | kcal/m ² h | 159/201 | 141/175 | 181/217 |
| 2 | Puissance installée du générateur | — | kcal/h | 250 000 a) | 1 100 000 a) | 946 000 b) |
| 3 | Puissance utile du générateur | $0,95 \cdot N2$ | kcal/h | 237 500 | 1 045 000 | 898 700 |
| 4 | Puissance disponible au remplissage — Mai | $N3 - SN1$ | kcal/h | 134 150 | 671 600 | 551 180 |
| 5 | Débit horaire pour $t_e - t_a = 14^\circ\text{C}$ | $N4 : 14$ | l/h | 9 550 | 47 970 | 39 370 |
| 6 | Temps de mise initiale en température | $V : (N5 \cdot 10^{-3})$ | h | 131 | 95 | 78,5 |
| 7 | Vitesse de chauffage au remplissage | $N4 : V$ | °C/h | 0,107 | 0,147 | 0,178 |
| 8 | Vitesse de chauffage après remplissage | $N3 : V$ | °C/h | 0,19 | 0,228 | 0,291 |
| 9 | Temps pour récupérer de nuit 2°C | $2 : N8$ | h-min | 10,30 | 8,45 | 7,0 |

a) Générateurs à gaz Hanrez
b) Chaudières électriques de 550 kW

3. Choix de la production de chaleur

Toutes les méthodes de production industrielle de chaleur entrent en ligne de compte pour le chauffage de l'eau des piscines et le maintien de la température requise. Néanmoins, certains combustibles, pour autant que les chaudières doivent être placées à proximité de la piscine, ne sont, pour des raisons de pollution de l'air et de dépôts de suie, pas recommandés — il s'agit de l'huile et du charbon.

Il est intéressant de comparer le prix de revient par Gcal (10^6 kcal) de chaleur utile entre divers moyens de chauffage. Ces prix sont récapitulés dans le tableau 12. La source de chaleur sera toujours intercalée dans un by-pass du système de cyclage de l'eau des bassins. Nous tenons compte, dans le coefficient de rendement indiqué ci-après, des pertes jusqu'à cette intersection.

3.11 *Huile combustible extra-légère* utilisée dans une chaudière traditionnelle avec échangeurs de chaleur incorporés ou indépendants. Ce système est souvent employé pour le chauffage des piscines couvertes, l'eau sanitaire pouvant également être produite simultanément. Toutefois, cette solution n'est guère recommandée pour les piscines en plein air, les raisons étant les suivantes :

- construction d'une cheminée, toujours inesthétique ;
- rendement global ne dépassant guère 55-60 % ;
- stockage de combustible ;
- pollution atmosphérique, odeurs désagréables ;
- dépôts de suies sur l'aire de la piscine.

Coût de l'huile extra-légère, fin septembre 1970 : 20 francs les 100 kg.

3.12 *Gaz de ville* utilisé dans une chaudière classique comme ci-dessus. Cette solution a l'avantage de ne pas polluer l'atmosphère ni l'aire de la piscine et le stockage est supprimé. En outre, seule une cheminée de deux mètres environ est nécessaire. Le rendement de combustion d'un foyer à gaz est un peu supérieur à celui des foyers prévus pour l'huile combustible. Coût du m³ de gaz : 13,5 ct.

Ce prix est basé sur la moyenne des tarifs de gaz pour le chauffage de l'eau des bassins de piscines publiques dans le canton de Vaud. Il correspond à 3,2 ct./kWh, valable jour et nuit. Ce prix a été consenti par les usines à gaz en vue de la future distribution du gaz naturel.

3.13 *Gaz de ville, ou propane*, utilisé dans une chaudière spéciale à tubes radiants. Dans ce cas, chaque tube, faisant office d'échangeur de chaleur, a son propre brûleur. On obtient avec ce genre de chaudière un rendement de 85 %.

Le coût du propane à fin septembre 1970 est de Fr. 45.— les 100 kg, il varie en fonction de la consommation annuelle.

L'emploi du propane nécessite une installation de stockage en plein air avec une citerne fixe. Des prescriptions assez sévères indiquent, entre autres, les distances à respecter par rapport aux constructions environnantes ainsi que la surface de l'aire de service qui doit être clôturée, les dispositifs de sécurité, etc. Il faut en tenir compte dans le calcul du prix de revient. A Renens et à Payerne, le supplément de prix dû au stockage du propane est de l'ordre de 1 à 2 francs par Gcal consommée.

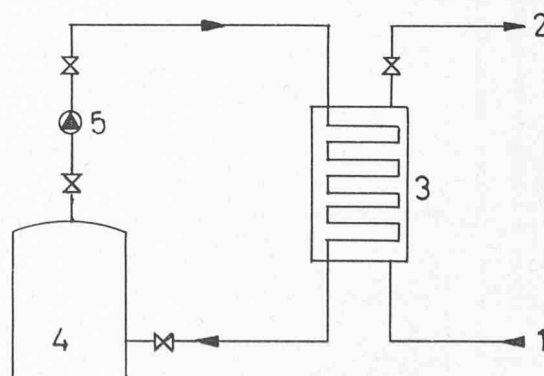


Fig. 7. — Schéma de chauffage avec chaudière traditionnelle.

1. Eau froide
2. Eau chaude
3. Echangeur
4. Chaudière
5. Pompe de cyclage secondaire

TABLEAU 12

Tableau comparatif du coût de 1 Gcal utiles avec diverses énergies

| | Energie | | | | Chaudières-générateurs | | Prix de 1 Gcal utiles | | |
|--------|---|---|-------------------------|---------------|--|----------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| | Désignation | Pouvoir calorifique | Prix | Prix/Gcal Fr. | Genre | Rendement global | Prix/Fr. | Supplément dû au stockage | Prix/Gcal utiles Fr. |
| 3.11 | Huile extra-légère | PC _i 10 000 kcal/kg | 20 ct./kg | 20,00 | Traditionnelle | 60 % | 33,40 | Pas calculé | — |
| 3.12 | Gaz de ville | PC _i 3 350 kcal/m ³ (a) | 13,5 ct./m ³ | 40,30 | Traditionnelle | 70 % | 57,50 | — | 57,50 |
| 3.13 | Gaz de ville | PC _i 3 350 kcal/m ³ | 13,5 ct./m ³ | 40,30 | Thermogaz (F) Turbomat (D) | 85 % 85 % | 47,40 | — | 47,40 |
| 3.14 | Gaz de ville | PC _s 3 780 kcal/m ³ (a) | 13,5 ct./m ³ | 35,70 | Hanrez (B) Erka (D) Temperator (D) | 95 % 95 % 95 % | 37,65 | — | 37,65 |
| 3.14' | Propane commercial | PC _s 11 100 kcal/kg (b) | 45 ct./kg | 40,50 | Hanrez Erka Temperator | 95 % 95 % 95 % | 42,65 | Fr. 1.—/Gcal | 43,65 |
| 3.14'' | Air propané | PC _s 5 850 kcal/m ³ (c) | 20 ct./m ³ | 34,20 | Hanrez Erka Temperator | 95 % 95 % 95 % | 36,— | — | 36,— |
| 3.15 | Electricité | 1 kWh = 860 kcal | 3 ct./kWh | 34,90 | à électrodes | 95 % | 36,70 | Fr. 7.—/Gcal | 43,70 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| a | Gaz de ville PC _s 4 200 kcal/Nm ³ Valeur ramenée à 15°C—725 mmHg (400 mètres) : PC _s = 3 780 kcal/m ³ | | | | | | | | |
| | PC _i 3 780 kcal/Nm ³ » PC _i = 3 350 kcal/m ³ | | | | | | | | |
| b | Propane PC _s 11 900 kcal/kg (0°C—760 mmHg) » PC _s = 11 100 kcal/kg | | | | | | | | |
| | PC _i 11 000 kcal/kg (0°C—760 mmHg) » PC _i = 10 250 kcal/kg | | | | | | | | |
| c | Air propané PC _s 6 500 kcal/Nm ³ » PC _s = 5 850 kcal/m ³ | | | | | | | | |
| | PC _i 6 000 kcal/Nm ³ » PC _i = 5 400 kcal/m ³ | | | | | | | | |

La comparaison entre le projet de chauffage au propane et celui à l'électricité a amené la Société coopérative de la piscine de Payerne à se décider pour le chauffage à l'électricité.

4. Frais d'exploitation de la piscine de Payerne et comparaison avec le chauffage au propane

4.1 Chauffage à l'électricité

Haut tarif 7,5 ct./kWh :

Restaurant, moteurs, éclairage

68 700 kWh Fr. 5 152.—

Bas tarif 3,0 ct./kWh :

Restaurant, moteurs, éclairage

62 500 kWh » 1 875.—

Chauffage de la piscine calculé sur une moyenne de 1000 Gcal

= 1 162 800 kWh » 34 884.—

Investissements supplémentaires :

Amortissement et intérêt de

Fr. 70 000.— » 7 000.—

Fr. 48 911.—

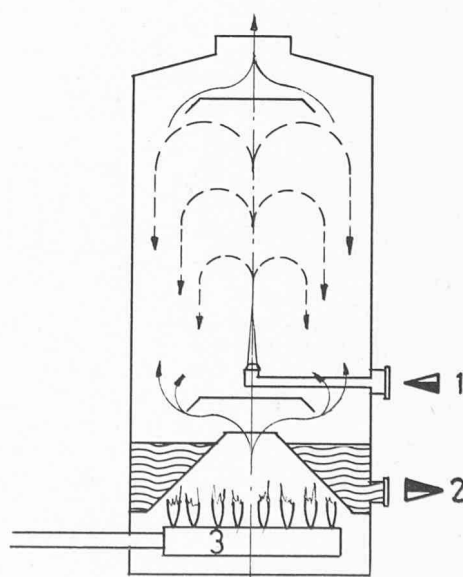


Fig. 11. — Chaudière « Erka » avec brûleurs à gaz. Les gaz de combustion sont en contact direct avec l'eau de la piscine.

1. Eau froide
2. Eau chaude
3. Brûleur

4.2 Chauffage au propane avec un générateur Hanrez.

Le gaz de ville ou l'air propané, bien que meilleur marché

que le propane, n'est pas distribué à Payerne. Pour cette raison, la comparaison est faite avec le propane.

| | |
|---|--------------|
| Moteurs, éclairage 120 000 kWh | |
| à 10 ct. | Fr. 12 000.— |
| Chauffage de la piscine calculé sur | |
| une moyenne de 1000 Gcal à | |
| Fr. 40.50 | » 40 500.— |
| Restaurant 10 Gcal à Fr. 40.50. | » 405.— |
| | Fr. 52 905.— |
| Supplément de Fr. 1.-/Gcal relatif au | |
| stockage (voir chap. 3.13) | » 1 010.— |
| | Fr. 53 915.— |

4.3 Conclusions de la comparaison électricité - propane

Les frais d'exploitation avec le chauffage électrique sont, dans ce cas précis, 9 % inférieurs par rapport à un chauffage au propane. Ceci a été possible grâce au prix avantageux du kWh.

- *Avantages de l'électricité* par rapport au propane :
Moins de surveillance et d'entretien.
Pas d'enlaidissement du paysage par la citerne.
Pas de prix instables, influencés par la situation internationale.
- *Avantages du propane* par rapport à l'électricité :
Exploitation plus souple.
Possibilité de produire l'eau chaude sanitaire avec le générateur.

5. Chauffage thermodynamique appelé « pompe de chaleur »

Ce système nécessite la présence d'un lac, d'un étang, d'un cours d'eau ou d'une nappe phréatique ayant une température à peu près constante. Cette eau est utilisée pour évacuer le froid produit à l'évaporateur, puis elle est envoyée refroidie à la source mentionnée ci-dessus. La quantité de chaleur disponible à la source chaude du condenseur par unité de puissance du compresseur est

de 5950 kcal/kWh (cette valeur résulte du cycle de Carnot) pour une température de 10°C de la source froide et une température de 35°C de l'eau chauffée.

L'utilisation d'un moteur à gaz pour entraîner le ou les compresseurs rend nécessaire son refroidissement et une quantité appréciable de chaleur peut être ainsi récupérée. Nous pouvons récupérer, en plus, la chaleur contenue dans les gaz d'échappement du moteur en les faisant passer dans un échangeur, ce qui n'est réalisable qu'avec un moteur à gaz en raison de la propreté des produits de combustion. De cette façon, l'eau chaude sanitaire et les divers chauffages sont assurés directement par la récupération de chaleur.

Si nous appelons T_1 pour la source froide, T_2 pour la source chaude, les températures en °Kelvin, Q l'énergie recueillie à la source chaude et W le travail fourni par la machine, nous avons :

$$\frac{Q}{W} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = a = \text{gain d'amplification}$$

Le gain d'amplification d'un chauffage thermodynamique pour une piscine peut être estimé à 3 au minimum. Ainsi, avec un prix de 37,65 francs/Gcal pour le gaz de ville (tableau 12, colonne 10) le coût d'une Gcal tombe à Fr. 12,55 avec le gain cité plus haut.

Si au point de vue du coût d'exploitation le chauffage thermodynamique est très intéressant, il faut toutefois prendre en considération le coût d'installation et les frais d'entretien plus élevés que ceux d'un chauffage au gaz par exemple. Si nous admettons une différence de Fr. 100 000.—, pour un chauffage de 1000 Gcal par saison, nous avons :

| | |
|--|--------------|
| Amortissement et intérêts de 100 000 francs à 10 % | |
| pendant 15 ans | Fr. 13 150.— |
| 1000 Gcal à Fr. 12,55 | » 12 550.— |
| | Fr. 25 700.— |
| Comparé avec un chauffage au gaz | |
| (3.14 — tableau 12) | |
| 1000 Gcal à Fr. 37,65 | » 37 650.— |
| Economie en faveur du chauffage thermo- | |
| dynamique | Fr. 11 950.— |

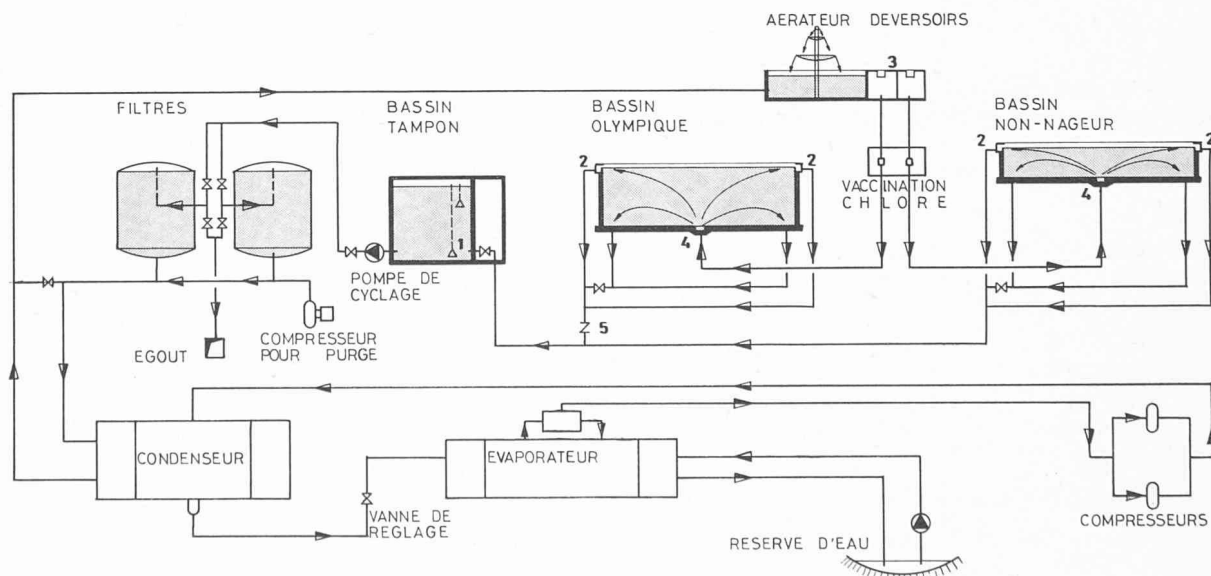


Fig. 12. — Schéma d'un chauffage de piscine par pompe de chaleur.

1. Vanne électrique commandée par flotteurs
2. Surflots
3. Déversoirs distributeurs
4. Canal d'alimentation
5. Clapet de retenue

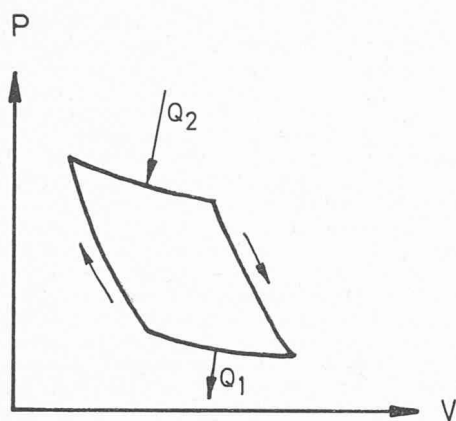


Diagramme
pression et volume

Fig. 13. — Cycle de Carnot.

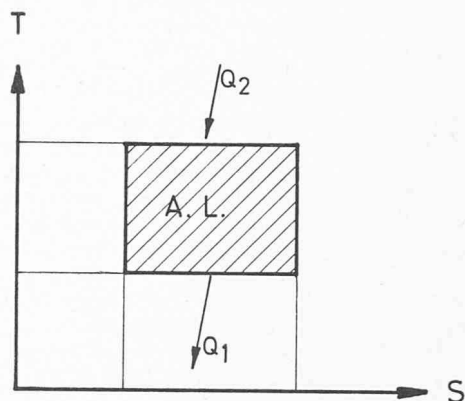


Diagramme
température et entropie

Fig. 14. — Diagramme T-S

Avec un chauffage thermodynamique pour un ensemble piscine - patinoire, l'énergie d'un moteur à gaz permet alors d'assurer à chaque instant les besoins de froid de la patinoire et de chaleur pour la piscine. (Exemple d'une telle application à Gelos, Basses-Pyrénées, France.)

En définitive, l'emploi d'un chauffage thermodynamique est lié à la présence d'une grande réserve d'eau à température constante. Un moteur à gaz permet une récupération importante de chaleur qui est nécessaire pour les installations sanitaires, le restaurant, le chauffage des vestiaires et des plages. Ce système conduit, comme nous l'avons vu, à des gains d'exploitation élevés qui permettent d'amortir rapidement les investissements supplémentaires inhérents à cette technique et de renouveler le capital investi pour les machines.

6. Chauffage des vestiaires et des plages

Un complément intéressant au chauffage des piscines consiste à chauffer les vestiaires par panneaux infrarouges et les plages par rayonnement avec un système de tubes incorporés dans les dalles en béton. Il ne s'agirait évidemment pas de tous les vestiaires ni de toutes les plages, mais d'un choix d'emplacements réservés aux « mordus » de la natation qui ne craignent pas le mauvais temps ou l'avant-et l'arrière-saison.

Nous pensons qu'il serait judicieux, pour les bassins olympiques, de chauffer les emplacements de départ ainsi qu'un vestiaire situé à proximité. Les combustibles de choix pour les piscines sont le gaz de ville, le gaz naturel ou le propane qui permettent une exploitation souple et surtout rapide s'adaptant facilement aux besoins et sont exempts d'agents polluants.

Les établissements privilégiés ayant la possibilité d'avoir un chauffage thermodynamique disposeraient ainsi d'une source de chaleur intéressante. L'évaporateur fournissant l'eau à 30°C, celle-ci circulerait dans les serpentins noyés dans le béton des plages et l'eau provenant du refroidissement du moteur à gaz pourrait alimenter les convecteurs des vestiaires.

7. Considérations finales économiques et techniques

Le chauffage des bassins en plein air est d'un intérêt évident : l'augmentation du nombre de jours d'utilisation, donc des entrées, justifie les dépenses d'installation d'une chaufferie.

Les qualités de l'électricité sont bien connues : propreté et absence de stockage. Il en est de même pour les gaz qui, en plus de leurs avantages spécifiques relevés plus haut, ne nécessitent plus de cheminée avec un générateur à combustion submergée, un simple et très court tube en matière plastique la remplace.

A côté des progrès généraux qui ont été acquis dans le domaine des chaudières, les trois points suivants méritent d'être relevés :

- Les techniques de combustion submergée qui conduisent à un rendement thermique de 97 % sur PC_s réduisent non seulement la consommation d'énergie mais également les frais d'investissement. Aussi ce type de matériel est-il en forte progression.
- La nécessité de fractionner les sources de chaleur dans tous les établissements de façon à adapter les consommations à des besoins variables dans le temps fait que le gaz remplit le plus souvent les conditions désirées.
- L'intérêt de la production simultanée de froid et de chaud par moteur à gaz, pour les ensembles rassemblant des piscines et des patinoires, notamment par chauffage thermodynamique, répond à une tendance actuelle. Les possibilités d'emploi du gaz apparaissent donc très ouvertes sur le marché des piscines.

Adresse de l'auteur :
Béda Hefti, Bureau d'études techniques, 23, Grand-Rue,
1530 Payerne