

PISCINES
CHAUFFAGE
DESHUMIDIFICATION

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

M. BLANC* et G. MELET**

Une piscine couverte doit être considérée comme un ouvrage spécifique dont les critères diffèrent de ceux d'un ouvrage classique (**figure 1**).

Le traitement de l'air sera lié à cette spécificité et il sera conçu en fonction :

- > des caractéristiques de la structure et des parois,
- > des conditions hygrothermiques procurant le confort,
- > des températures requises des plans d'eau,
- > des évaporations,
- > des émanations,
- > des interactions AIR/EAU,
- > des énergies disponibles.

Le traitement de l'air devra assurer :

- > le confort,
- > l'élimination de l'évaporation,
- > la sécurité et la pérennité des équipements et du bâti,
- > l'hygiène.

1. LES BESOINS

1.1 Le confort

Le confort thermique défini par P. O. FAN-G est obtenu lorsque l'équation de confort satisfait ; cette équation exprime l'égalité entre la production de chaleur du corps et la dissipation de chaleur par le corps. De nombreuses observations effectuées par le ministère de la Jeunesse et des Sports, et par des organismes comme le C.S.T.B., l'A.F.D.E. etc., les professionnels spécialisés de la conception, la fabrication, la construction et l'exploitation auprès des usagers baigneurs, ont permis de définir les conditions optimales

De bonnes conditions hygrothermiques sont nécessaires pour assurer la satisfaction des utilisateurs de piscines couvertes. De plus, la sécurité et la pérennité des équipements et du bâti imposent des traitements d'air spécifiques.

des baignades. Elles sont données dans le **tableau 1**.

En effet, les conditions hygrothermiques données dans ce tableau procurent un bon confort à l'entrée dans l'eau, pendant la baignade et à la sortie du bain, susceptibles de satisfaire plus de 3/4 des usagers.

Quant aux températures d'eau des bassins, les valeurs suivantes paraissent satisfaire les usagers dans le même rapport :

- > Bassin d'apprentissage 29 °C
- > Bassin sportif 26 °C
- > Pataugeoires 30 °C
- > Bébés nageurs 32 °C
- > Bains bouillonnants 34 °C.

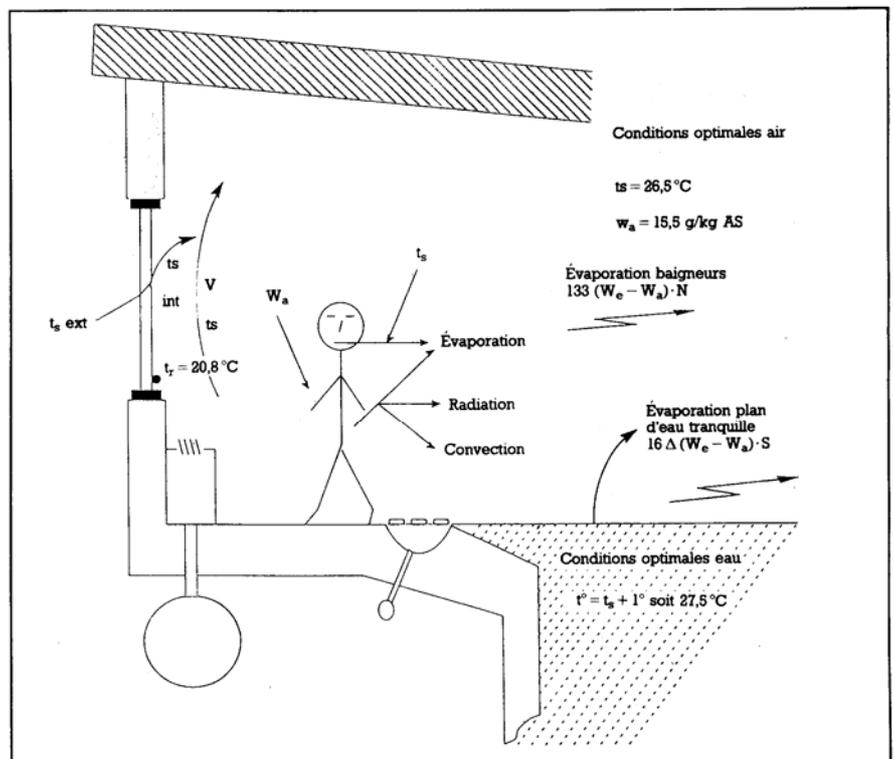


Figure 1.

* M. BLANC, P.-D.G. de ECOENERGIE GROUPE S.A. à BEUCAIRE.

** G. MELET, étudiant à l'UT de Grenoble.

T E C H N I Q U E

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

Tableau 1.

Température sèche de l'air (ta°C)	Degré hygrométrique	Humidité absolue (Wg/kg)	Température de rosée (tr°C)	Température eau minimum (te°C)
26,5	72%	15,5	20,8	27,5
27,0	67%	15,0	20,2	28,08
27,5	66%	14,0	19,3	27,5
Pression totale du mélange air sec + vapeur P= 101325 Pa				

1.2 L'évaporation

C'est la conséquence directe des conditions de confort.

Pour la clarté de l'approche il faut distinguer la quantité de vapeur d'eau évaporée par le plan d'eau tranquille de celle évaporée par les baigneurs.

Les formules de calcul donnant une bonne approche sont les suivantes :

> Plan d'eau tranquille :

$$m=16(We-Wa)XS$$

> Occupants : $m=133(We-Wa)XN$

où

m = masse d'eau évaporée en grammes par heure

We = humidité saturante à la température de l'eau en grammes par kilo d'air sec

Wa = humidité absolue de l'air en grammes par kilo d'air sec

S=surface du bassin en m²

N=nombre de baigneurs,

Des exemples sont donnés figure 2.

1.3 La sécurité et la pérennité

Pour assurer la pérennité des structures de l'établissement, il est important d'éviter l'apparition de la condensation sur les parois internes du bâtiment.

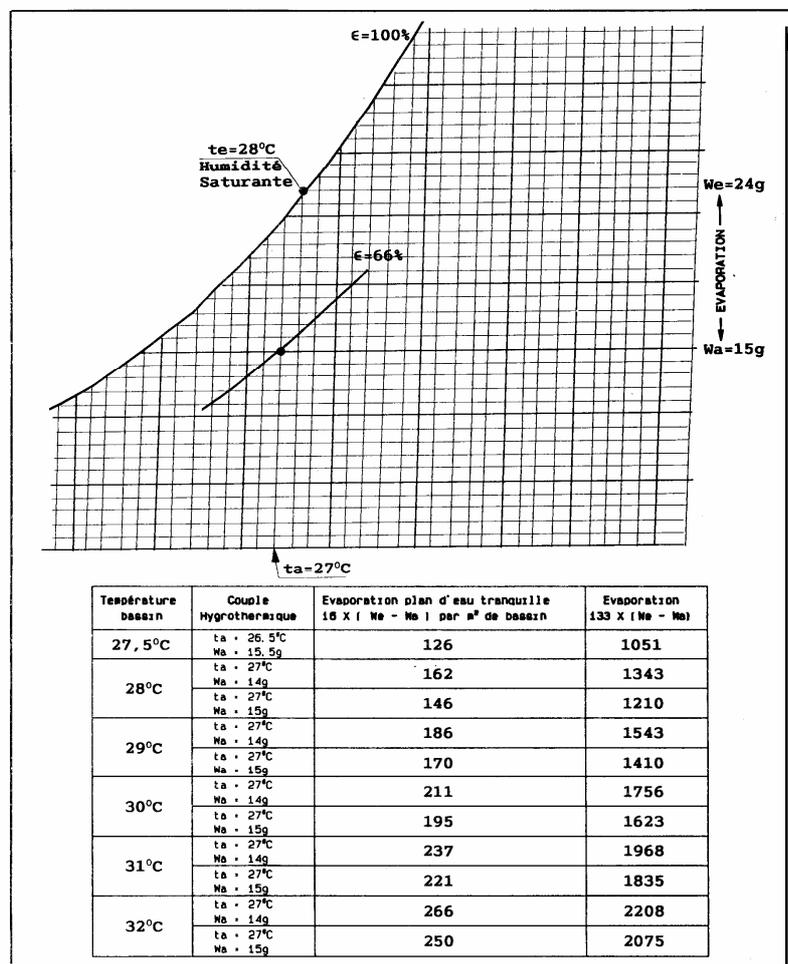
En effet, de tels problèmes engendrent tôt ou tard la migration d'eau dans les murs, la corrosion des parties métalliques et donc à terme la dégradation des structures du bâtiment.

Il faudra donc concevoir des bâtiments capables de supporter des températures de rosée élevées.

1.4 L'hygiène

Les règlements en matière d'hygiène prévoient un apport d'air neuf au minimum égal à 61/s/occupant. Cependant, on constate qu'il est nécessaire de porter ce chiffre à 18 l/s/occupant afin de mieux évacuer les émanations consécutives à la désinfection. Il en est de même pour l'apport hygiénique

Figure 2.



d'eau neuve qui devra être porté du minimum légal de 30l/baigneur à 60 litres voire 90 litres et plus selon les cas.

La consommation d'eau chaude sanitaire sera de l'ordre de 30l/baigneur à 37 °C.

■ 2 . LES OUTILS

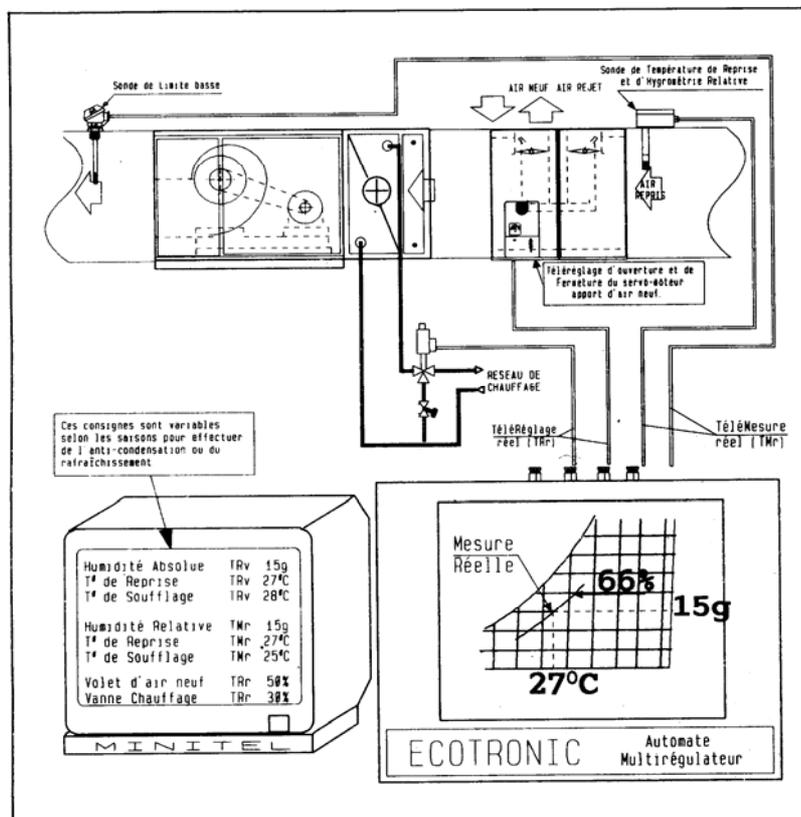
Après le traitement «tout air neuf» à débit fixe utilisé il y a une

vingtaine d'années, avant les chocs pétroliers, sont apparues plusieurs solutions qui ont satisfait avec plus ou moins de bonheur à « tous les besoins ».

En effet, selon les préoccupations du moment, la recherche des réductions à tout prix des consommations énergétiques a provoqué des effets pervers sur le confort et la structure des établissements.

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

Figure 3. Modulation d'air neuf. Régulation d'humidité.



Les outils qui vont être décrits succinctement ont le mérite de satisfaire à l'ensemble des besoins interactifs.

2.1 Modulation d'Air Neuf (M.A.N.)

Une centrale de traitement d'air équipée d'un caisson de ventilation en aspiration et d'un caisson de mélange deux voies permettra de traiter le local en surpression.

Une centrale de traitement d'air équipée de deux caissons de ventilation et d'un caisson 3 voies permettra de traiter le local en équilibre de pression et la récupération d'énergie entre les rejets et les admissions d'air neuf sera plus aisée.

Dans les deux cas, le principe de fonctionnement est identique, il s'agit de remplacer de l'air intérieur humidifié par l'évaporation des plans d'eau par l'air extérieur sec; en effet, quel que soit le moment de l'année, l'humidité absolue de l'air extérieur n'atteint jamais 14 grammes par kilo d'air sec pour aucune des stations météorologiques européennes. La satisfaction des besoins résidera dans l'évaluation des tailles d'équipement et dans l'ajustement interactif des positions des volets

de mélange en fonction de l'évaporation aléatoire et des conditions de l'air extérieur.

2.2 La régulation

Deux modes de régulation sont utilisables :

> la régulation en fonction du degré hygrométrique,

> la régulation en fonction de l'humidité absolue.

Ces modes de régulation peuvent avoir des seuils fixes ou des seuils glissants en fonction de la saison afin d'ajuster les conditions de confort et de faire varier la température de rosée.

a) La régulation en fonction du degré hygrométrique nécessite des régulateurs classiques qui peuvent être associés.

b) La régulation en fonction de l'humidité absolue nécessite (figure 3) :

Tableau 2.

	Bassin sportif	Bassin d'apprentissage
Longueur	25,0 m	12,5 m
Largeur	12,5 m ₂	12,5 m ₂
Surface	312,5 m ²	156,3 m ²
Température	28 °C	29 °C

> soit une sonde de poids d'eau qui selon la technologie retenue sera d'un coût élevé ou inadaptée à l'air à contrôler,

> soit une sonde double de « température sèche/degré hygrométrique » qui, associée à un automate multirégulateur interactif, permettra par le calcul de définir l'humidité absolue qui deviendra le seuil fixe ou glissant de pilotage des volets.

2.3 L'association « thermodynamique/modulation d'air neuf »

L'évaporation liée au plan d'eau tranquille est une constante alors que l'évaporation liée aux baigneurs est aléatoire : il a été envisagé d'associer un équipement thermodynamique (ou thermofrigopompe) pour satisfaire le besoin constant de déshumidification permettant l'exploitation du gisement de chaleur latente à un équipement de modulation d'air neuf pour satisfaire le besoin aléatoire de déshumidification (figure 4).

Cette approche permet par rapport à la modulation d'air neuf seule :

> une amélioration du confort estival ainsi qu'une élimination des produits indésirables par les condensats,

> une réduction importante des consommations d'énergie primaire. En contrepartie une légère augmentation des consommations électriques sera constatée.

3. ANALYSE COMPARATIVE D'UN CAS TRAITÉ

Il est essentiel, pour juger objectivement de l'opportunité d'un équipement, de prendre en considération un cas concret et de le traiter comparativement. C'est ce qui est fait pour un établissement de la région parisienne relevant de la station météorologique de PARIS-MONTSOURIS.

3.1 Caractéristiques de la piscine

Les caractéristiques du bassin sont données dans le tableau 2.

Le couple hygrothermique dans le hall est le suivant :

> température sèche de l'air : 27 °C, > humidité absolue : 15 g/kg air sec.

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

La fréquentation de la piscine varie de 10 à 80 baigneurs par heure, sa **fréquentation moyenne** est d'environ **30 baigneurs/heure** (valeur obtenue en divisant le nombre annuel de baigneurs par le nombre annuel d'heures d'ouverture) alors que la F.M.I. (Fréquentation Maximale Instantanée) limite la capacité d'accueil à 1 baigneur par m² de plan d'eau, soit 468 baigneurs.

3.2 Masses d'eau évaporées

a) Plan d'eau tranquille

Bassin sportif : $0,146 \times 312,5 \text{ m}^2 = 45,6 \text{ kg/h.}$
 Bassin d'apprentissage : $0,170 \times 156,3 \text{ m}^2 = 26,5 \text{ kg/h.}$ **Évaporation bassin=72 kg/h.**

b) Occupants

Bassin sportif : $1,210 \times (1 \times 312,5) = 378 \text{ kg.}$ Bassin d'apprentissage : $1,410 \times (1 \times 156,3) = 220 \text{ kg.}$

Évaporation moyenne réelle due aux occupants :

598

X 30 = 38 kg/h.

312 + 156

c) Évaporation totale moyenne réelle

$72 + 38 = 110 \text{ kg/h.}$

Nota : l'évaporation moyenne réelle, significative de l'exploitation sera retenue pour le déroulement des calculs.

d) Histogramme journalier

Voir figure 5.

3.3 MAN.-Besoins énergétiques

a) Pouvoir déshumidificateur de l'air extérieur

Il est rappelé dans la figure 6.

b) Besoins énergétiques diurnes horaires moyens

Voir tableau 3.

3.4 Thermodynamique + modulation d'air neuf

Les performances retenues pour l'analyse comparative sont celles d'un équipement type de la gamme ÉCOÉNERGIE. Les performances sont spécifiques pour chaque type d'équipement, ce qui interdit la généralisation des résultats obtenus.

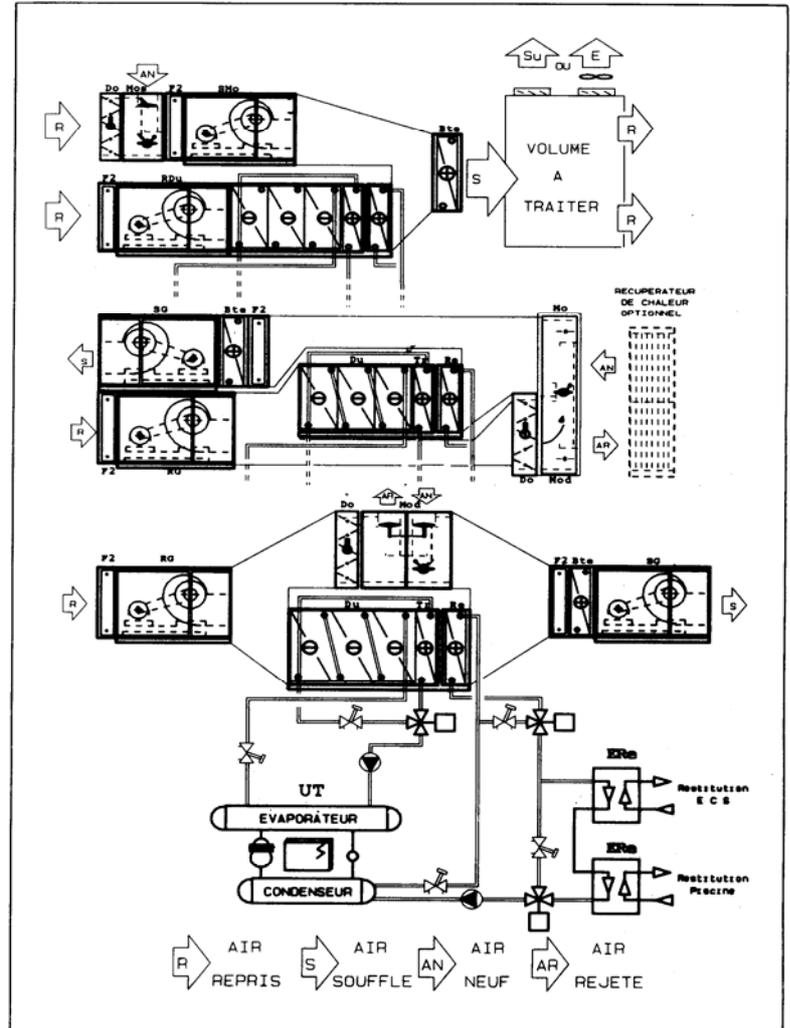
a) Réponse aux besoins

Voir figure 7.

b) Besoins énergétiques diurnes horaires moyens

Voir tableau 4.

Figure 4. Thermodynamique et modulation d'air neuf.



3.5 Coûts d'exploitation et retour d'investissement (voir annexe IV)

a) Surinvestissement lié à l'équipement thermodynamique

- > Coût du système thermodynamique avec armoire électrique et régulation 281900 F
- > Coût de la mise en œuvre 100 000 F

Total HT surinvestissement 381900 F

Bases de calcul des consommations

- > Besoins en Modulation d'Air Neuf (M.A.N.) 2 042 363 kWh
- > Besoins électriques de l'unité thermodynamique (U.T.) 233772 kWh
- prix du kWh : 0,64 F TTC
- > Besoins en énergie primaire complémentaire: 1094 600 kWh

c) Rendement de la chaufferie :

85 % quel que soit le type d'énergie primaire

d) Durées d'amortissement du surinvestissement

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

Figure 5.

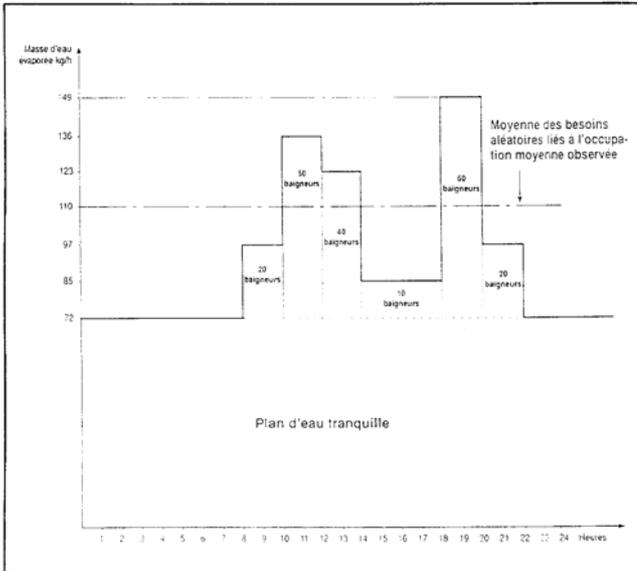


Figure 7.

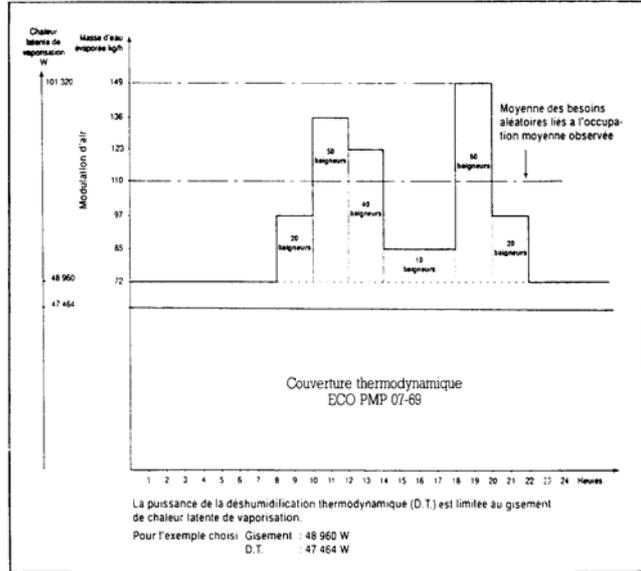
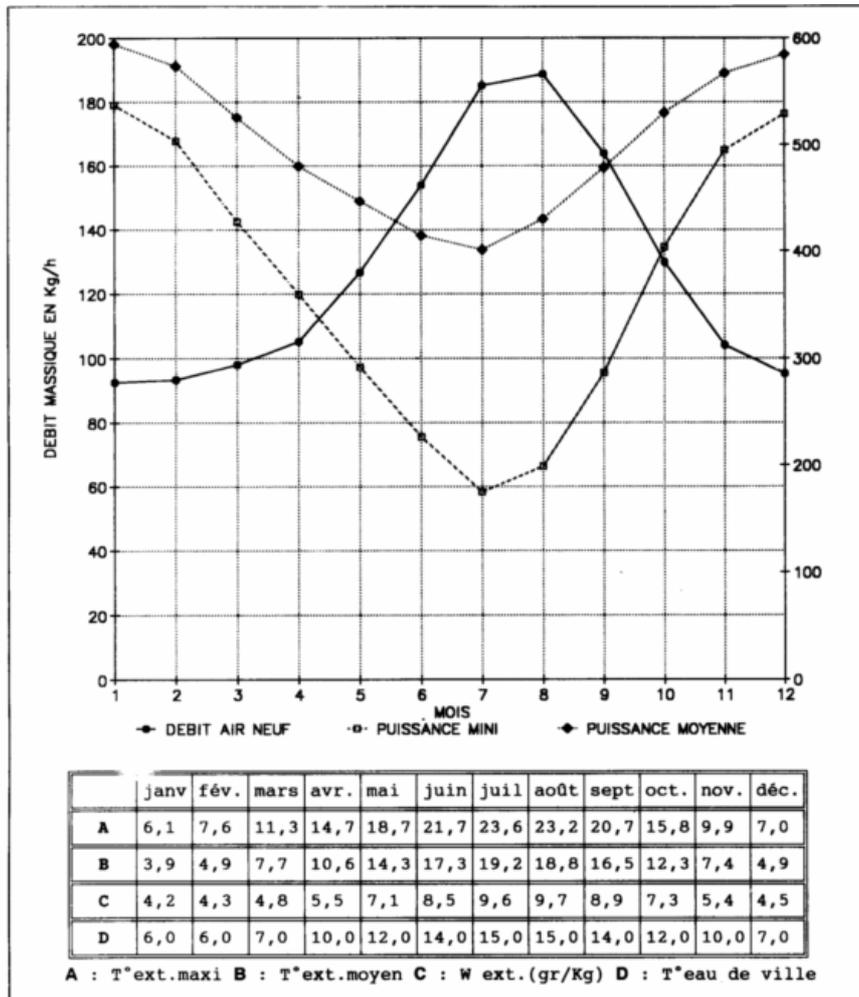


Figure 6. Paris-Montsouris Moyennes trentenaires (Couple hygrothermique ts 27 °C W 15 g/kg).



En fonction de l'énergie primaire utilisée, les durées d'amortissement sont, toutes choses égales par ailleurs :

- Par rapport au fuel domestique — 4 ans et 9 mois
- Par rapport au charbon national — 3 ans et 6 mois
- Par rapport au gaz naturel — 3 ans et 4 mois
- Par rapport au propane (option consignation) — 1 an et 9 mois
- Par rapport au propane (option location cuve) — 1 an et 4 mois
- Par rapport à l'électricité — 10 mois

■ 4. CONCLUSION

4.1 Modulation d'Air Neuf (M.A.N.)

La M.A.N. liée à une bonne régulation est l'équipement minimum pour assurer l'apport hygiénique d'air neuf, le confort, la pérennité des installations..

Le procédé nécessite des débits importants d'air, particulièrement en été.

La récupération de l'énergie extraite par l'intermédiaire de batteries, difficilement quantifiable, entraîne des surconsommations d'électricité au niveau des ventilateurs.

4.2 La thermodynamique associée

à la M.A.N.

Compromis de solutions techniques et tradi-

T E C H N I Q U E

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

Tableau 3.

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1 - Plan d'eau tranquille Débit massique : $\frac{m}{(W_a - W_{ox1})} = \text{kg/h}$	6667	6729	7059	7579	9114	11077	13333	13585	11803	9351	7500	6857
Puissance $0,28 \times$ débit $(T_a - T_{ox1}) = W$	43120	41639	38146	34803	32409	30085	29120	31191	34702	38487	41160	42462
2 - Occupants Débit massique : $\frac{m}{(W_a - W_{ox1})} = \text{kg/h}$	3519	3551	3725	4000	4810	5846	7037	7170	6230	4935	3958	3619
Puissance $0,28 \times$ débit $(T_a - T_{ox1}) = W$	22758	21976	20133	18368	17105	15878	15369	16462	18315	20313	21723	22395
3 - Eau chaude sanitaire Puissance 30 l/baigneur \times nbre baigneurs $(37^\circ\text{C} - T_{eau})/0,86 = W$	32442	32442	31395	28256	26163	24070	23023	23023	24070	26163	28256	31395
4 - Bassin Chaleur latente de vaporisation : masse d'eau évaporée (bassin) $\times 680 = W$	48960	48960	48960	48960	48960	48960	48960	48960	48960	48960	48960	48960
Eau neuve : 75 l/baigneur $(T_{bassin} - T_{eau})/0,86 = W$	57558	57588	54942	47093	41860	36628	34012	34012	36628	41860	47093	54942
5 - Besoins énergétiques $\epsilon = 1 + 2 + 3 + 4$	204838	202575	193576	177479	166497	155621	150484	153648	162674	175783	187192	200124

Tableau 4.

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1 - M.A.N. Besoins énergétiques W	204838	202575	193576	177479	166497	155621	150484	153648	162674	175783	187192	200124
Unité thermodynamique PMP 07 - 69 W Puissance condenseur : restitution	102600	102600	102600	102600	102600	102600	102600	102600	102600	102600	102600	102600
Réchauffage air déshumidifié : $0,28 \times Dm \times (T_a - 16,5)$ W -	26019	26019	26019	26019	26019	26019	0	0	26019	26019	26019	26019
Production nette W	76581	76581	76581	76581	76581	76581	102600	102600	76581	76581	76581	76581
Air neuf non introduit : $0,28 \times$ Poids eau évacuée PMP $\frac{(W2 - ext)}{(T_a - T_{ext})}$ W +	41802	40367	36980	33739	31419	29166	28230	30238	33641	37311	39902	41135
2 - ECO PMP 97 (production nette + gain) =	118383	116948	113561	110320	108000	105747	104811	106819	110222	113892	116483	117716
3 - Solde énergie primaire 1-2 W	84161	82787	76042	62301	52228	42255	10482	11465	44702	56775	67778	80156
Réduction des besoins %	58,91	59,13	60,72	64,90	68,63	72,85	93,03	92,54	72,52	67,70	63,79	59,95
4 - Consommation électrique	27830	27830	27830	27830	27830	27830	27830	27830	27830	27830	27830	27830

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

tionnelles, la thermodynamique satisfait aux besoins de déshumidification toute l'année, tout en apportant les avantages de la climatisation en ce qui concerne la qualité de l'air, et en exploitant le gisement de chaleur latente du plan d'eau.

L'efficacité du procédé décrit permet, tout en consommant un minimum de kW électriques, d'économiser un maximum d'énergie primaire le plus souvent importée, et d'optimiser l'utilisation des puissances mises en œuvre.

Le procédé, du fait des importantes récupérations d'énergie qu'il permet, réduit de près de 60% les émissions de fumées liées à la production des besoins de chauffage de l'eau et de l'air.

Le surinvestissement apparent est compensé par un temps de retour à l'investissement court, une réduction de la taille des réseaux de gaines et une économie d'exploitation importante par rapport aux autres solutions.

5. ANALYSE COMPARATIVE D'UN CAS TRAITÉ

Nous reprenons ci-après un exemple beaucoup plus détaillé permettant une comparaison des consommations annuelles et une étude de l'amortissement du surinvestissement du système en fonction des énergies.

5.1 Déroulement des calculs

Affectation des données :

M (**M'**) = masse d'eau évaporée en une heure pour 1 m² de surface

W_a = hygrométrie absolue de l'air du hall

W_{ext} = hygrométrie absolue de l'air extérieur

T_{ECS} = température de l'eau chaude sanitaire

T_{ext moy} = température extérieure moyenne

T_{ext max} = température extérieure maximale

T_a = température de l'air du hall

T_{eau} = température de l'eau de ville

C_p = chaleur massique de l'air sec à 20°C
(C_p = 1 007 J/kg°C)

5.1.1 Modulation d'air neuf

La modulation d'air neuf s'effectuant le jour et la nuit, la température moyenne sera considérée comme température extérieure. Données valables pour le mois de janvier :

M = 72 kg

W_a = 15 g

W_{ext} = 4,2 g

T_a = 27°C

T_{ext moy} = 3,9°C

M' = 38 kg

T_{ext max} = 6,1°C

T_{ECS} = 37°C

T_{eau} = 6°C.

Calcul des besoins

1) Plan d'eau tranquille

Calcul du débit massique :

$$\frac{M}{W_a - W_{ext}} = 6\,667 \text{ kg/h}$$

Puissance :

$$P = m \cdot C_p \cdot (T_a - T_{ext\,moy})$$

$$P = (6\,667/3\,600) \times 1\,007 \times (27 - 3,9)$$

P = 43 080 W

2) Occupants

Calcul du débit massique :

$$\frac{M'}{W_a - W_{ext}} = 3\,519 \text{ kg/h}$$

Puissance :

$$P = m \cdot C_p \cdot (T_a - T_{ext})$$

$$P = (3\,519/3\,600) \times 1\,007 \times (27 - 3,9)$$

P = 22 738 W

3) Eau chaude sanitaire

Pour le calcul des besoins en E.C.S., on évalue la consommation d'eau à 30 l/baigneurs.

Puissance :

$$P = (\text{nb baigneurs/heure})/3\,600 \times 30 \text{ l/baigneur} \times (T_{ECS} - T_{eau})$$

$$P = (30 \times 30)/3\,600 \times 4\,185 \times (37 - 6)$$

P = 32 442 W

4) Bassin

La puissance totale est celle nécessaire pour compenser la vaporisation de l'eau du bassin et l'apport d'eau neuve.

Vaporisation de l'eau des bassins :

$$P_1 = m \times L_v = 72 \times 680$$

P₁ = 48 960 W

Eau neuve :

$$P_2 = \frac{(75 \text{ l/baigneur} \times 30 \text{ baigneurs/h})}{3\,600} \times 4\,185 (T_{bassin} - T_{eau})$$

$$= \frac{75 \times 30}{3\,600} \times 4\,185 \times (28 - 6)$$

P₂ = 57 545 W

Total P₁ + P₂ = **106 505 W**

5) Besoin total en énergie en modulation d'air neuf :

$$(1) + (2) + (3) + (4) = \mathbf{204\,765\,W}$$

5.1.2 Thermodynamique + Modulation d'air neuf

La température de l'air extérieur prise en compte dans les calculs est la température moyenne diurne de l'air, car la déshumidification complémentaire par modulation d'air

neuf ne se fait que le jour (donc quand la température est à son apogée).

• Données supplémentaires :

m_{pmp} = 69,80 kg/h, poids d'eau évacué par ECO PMP 97-69

P_{abs} = 27,83 kW, puissance absorbée par la machine

P_{con} = 102,6 kW, puissance développée par le condenseur

D_m = 8 850 kg/h, débit massique de l'air.

Calcul des besoins

1) Plan d'eau tranquille

Puissance :

$$P = \frac{(M - m_{pmp}) \cdot C_p \cdot (T_a - T_{ext\,max})}{(W_a - W_{ext})} \times 1\,007 \times (27 - 6,1)$$

$$= \frac{3\,600(0,015 - 0,0042)}{72 - 69,8} \times 1\,007 \times (27 - 6,1)$$

P = 1 191 W

2) Occupants

Calcul du débit massique :

$$m = \frac{M'}{W_a - W_{ext}} = 3\,519 \text{ kg/h}$$

Puissance :

$$P = m \cdot C_p \cdot (T_a - T_{ext\,max})$$

$$= \frac{3\,519}{3\,600} \times 1\,007 \times (27 - 6,1)$$

P = 20 573 W

3) Eau chaude sanitaire :

valeur inchangée - **P = 32 442 W**

4) Bassins :

valeur inchangée - **P = 106 505 W**

5) Besoins - sous-total :

$$(1) + (2) + (3) + (4) = \mathbf{P = 160\,711\,W}$$

Restitution d'énergie par déshumidificateur thermodynamique

Unité thermodynamique PMP 07-69 :

Puissance condenseur - restitution

P = 102 600 W

Réchauffage air déshumidifié

P = m \cdot C_p \cdot (T_a - 16,5)

$$= \frac{8\,850}{3\,600} \times 1\,007 \times (27 - 16,5)$$

P = - 25 993 W

Puissance nette disponible P = 76 607 W

Gain d'énergie sur l'air neuf non introduit

$$P = \frac{m_{pmp} \cdot C_p \cdot (T_a - T_{ext\,max})}{(W_a - W_{ext})} \times 1\,007 \times (27 - 6,1)$$

$$= \frac{69,8}{72 - 69,8} \times 1\,007 \times (27 - 6,1)$$

P = 37 783 W

Besoins restant à couvrir après utilisation

Besoin total - Puissance disponible U.T.

= Besoins à couvrir

$$160\,711\,W - 76\,607\,W = \mathbf{84\,104\,W}$$

T E C H N I Q U E

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

5.2 Consommations annuelles comparées

Voir tableau 5.

5.3 Amortissement du surinvestissement en fonction des énergies.

Source: *ENERGIE PLUS*, juin 1992

• Fuel domestique

Unité de facturation: hectolitre (hl)
Prix rendu: 205,00 F/unité
PCI approximatif: 995 kWh/unité

1) Coût d'exploitation en modulation d'air neuf:

$$\frac{2\,042\,363 \times 205}{0,85 \times 995} = 495\,045 \text{ F}$$

2) Coût d'exploitation en thermodynamique:

▷ consommation de l'U.T. 149 615 F
▷ consommation complémentaire
 $\frac{1\,094\,600 \times 205}{0,85 \times 995} = 265\,318 \text{ F}$
414 933 F

3) Différentiel de coût d'exploitation:

$$495\,045 - 414\,933 = 80\,112 \text{ F}$$

Durée d'amortissement du surinvestissement: $\frac{381\,900}{80\,112} = 4 \text{ ans et } 9 \text{ mois}$

• Charbon national

Unité de facturation: tonne
Prix rendu: 2 050,00 F/unité
PCI approximatif: 8 801 kWh/unité

1) Coût d'exploitation en modulation d'air neuf:

$$\frac{2\,042\,363 \times 2\,050}{0,85 \times 8\,801} = 559\,675 \text{ F}$$

2) Coût d'exploitation en thermodynamique:

▷ consommation de l'U.T. 149 615 F
▷ consommation complémentaire
 $\frac{1\,094\,000 \times 2\,050}{0,85 \times 8\,801} = 299\,956 \text{ F}$
449 571 F

3) Différentiel de coût d'exploitation:

$$559\,675 - 449\,571 = 110\,104 \text{ F}$$

Durée d'amortissement du surinvestissement: $\frac{381\,900}{110\,104} = 3 \text{ ans et } 6 \text{ mois}$
--

• Gaz naturel

Unité de facturation: kWh/PCS
Prix rendu: 0,215 F/unité
PCI approximatif: 0,909 kWh/unité

1) Coût d'exploitation en modulation d'air neuf:

$$\frac{2\,042\,363 \times 0,215}{0,85 \times 0,909} = 568\,314 \text{ F}$$

2) Coût d'exploitation en thermodynamique:

▷ consommation de l'U.T. 149 615 F

▷ consommation complémentaire

$$\frac{1\,094\,600 \times 0,215}{0,85 \times 0,909} = 304\,587 \text{ F}$$

3) Différentiel de coût d'exploitation:

$$568\,314 - 454\,202 = 114\,112 \text{ F}$$

Durée d'amortissement du surinvestissement: $\frac{381\,900}{114\,112} = 3 \text{ ans et } 4 \text{ mois}$
--

• Propane (option consignation)

Unité de facturation: tonne (t)
Prix rendu: 4 190,14 F/unité
PCI approximatif: 12 790 kWh/unité

1) Coût d'exploitation en modulation d'air neuf:

$$\frac{2\,042\,363 \times 4\,190,14}{0,85 \times 12\,790} = 787\,176 \text{ F}$$

2) Coût d'exploitation en thermodynamique:

▷ consommation de l'U.T. 149 615 F
▷ consommation complémentaire
 $\frac{1\,094\,600 \times 4\,190,14}{0,85 \times 12\,790} = 421\,885 \text{ F}$
571 500 F

3) Différentiel de coût d'exploitation:

$$787\,176 - 571\,500 = 215\,676 \text{ F}$$

Durée d'amortissement du surinvestissement: $\frac{381\,900}{215\,676} = 1 \text{ an et } 9 \text{ mois}$

Tableau 5.

Postes	Modulation air neuf	Thermodynamique modulation air neuf
Besoins	kWh	kWh
Déperditions par les parois HALL	798 620,08	798 620,08
Apport d'air neuf modulé HALL	374 649,41	74 782,12
Déperditions + Air neuf ANNEXES	0,00	0,00
Régime accéléré	38 095,20	38 095,20
Apport d'eau neuve bassins	177 046,22	177 046,22
Remplissage bassin	39 883,72	39 883,72
Évaporation bassin et perte thermique	506 517,48	506 517,48
Eau chaude sanitaire	107 551,05	107 551,05
Besoins totaux annuels	2042363,16	1 742 495,87
Répartition de la production		
Procédé d'économie d'énergie PMP 07-40	0,00	64 7895,76
Chaufferie : énergie primaire	2 042 363,16	1 094 600,11
Consommations		
Déshumidification thermodynamique		233 772,00
Énergie primaire sans auxiliaire rendement estimé à 85 %	2 402 780,19	1 287 764,84
Consommation totale annuelle	2 402 780,19	1 521 536,84
Consommation d'eau de ville (m ³ /an)	14 245,00	14 245,00

T E C H N I Q U E

TRAITEMENT D'AIR DES PISCINES COUVERTES

• Propane
(option location de la cuve)
Unité de facturation: tonne (t)
Prix rendu: 5 108,14 F/unité
PCI approximatif: 12 790 kWh/unité

1) Coût d'exploitation en modulation d'air neuf:
$$\frac{2042363 \times 5108,14}{0,85 \times 12790} = 959635 \text{ F}$$

2) Coût d'exploitation en thermodynamique:
▷ consommation de l'U.T. 149 615 F
▷ consommation complémentaire
$$\frac{1094600 \times 5108,14}{0,85 \times 12790} = 514315 \text{ F}$$

663 930 F

3) Différentiel de coût d'exploitation:
 $959635 - 663930 = 295705 \text{ F}$

Durée d'amortissement du surinvestissement: $\frac{381900}{295705} = 1 \text{ an et } 4 \text{ mois}$

• Électricité
Unité de facturation: kWh
Prix rendu: 0,64 F/unité

1) Coût d'exploitation en modulation d'air neuf:
 $2042363 \times 0,64 = 1307112 \text{ F}$

2) Coût d'exploitation en thermodynamique:
▷ consommation de l'U.T. 149 615 F
▷ consommation complémentaire
 $1094600 \times 0,64 = 700544 \text{ F}$
850 159 F

3) Différentiel de coût d'exploitation:
 $1307112 - 850159 = 456953 \text{ F}$

Durée d'amortissement du surinvestissement: $\frac{381900}{456953} = 10 \text{ mois}$
