

**AIVC**  
**#8989**



## LES PISCINES COUVERTES

### QUALITE DE L'AIR, CONFORT DANS L'EAU, ARGUMENTAIRE

#### SOMMAIRE

I	PROBLEMES LIES A L'HUMIDITE	1
I-1	Généralités	
I-2	Moisissures	
I-3	Hygrométrie et santé	
I-4	Hygrométrie et confort	2
I-5	Conclusion	
II	TEMPERATURE DE L'EAU	5
II-1	Passage de l'air dans l'eau	
II-2	Séjour dans l'eau	6
II-3	Bains chauds, spas, thermes	7
III	QUALITE DE L'AIR	8
III-1	Sources de pollution	
	Pollution humaine	
	Bassin	
	Produits de nettoyage	9
	Matériaux constitutifs du bâtiment	
	Systèmes de traitement d'air	
	Air extérieur	
III-2	Traitement de l'air	
	Débit d'air neuf	10
	Déshumidification	13
	Diagramme de confort baigneurs et visiteurs	3
	Photos : exemples de pollution de l'air par les installations	12
	Schéma centrale de traitement d'air mixte (PAC + air neuf modulé)	14
	Bibliographie	17



## QUALITE DE L'AIR, CONFORT DANS L'EAU

### I PROBLEMES LIES A L'HUMIDITE

#### I-1 Généralités

Du strict point de vue des échanges thermiques entre le corps humain et son environnement, l'humidité relative peut prendre des valeurs extrêmes sans détruire l'état de neutralité thermique, pour peu que les autres paramètres soient réajustés suivant l'équation de confort généralisée.

Il convient cependant de prendre en compte d'autres effets possibles : déshydratation des muqueuses, sensation de moiteur, condensation sur les parois, santé etc...

D'après G. BRUNDRETT <sup>(1)</sup>, l'humidité agit de deux façons :

- . par la valeur de l'humidité relative, pour certains phénomènes.
- . par la valeur de la pression partielle de vapeur d'eau (ou teneur en eau), pour d'autres.

#### I-2 Moisissures

Le développement des moisissures est lié à l'humidité relative. L'air extérieur contient 1000 à 10 000 spores/m<sup>3</sup> <sup>(2)</sup>. Ces spores, invisibles à l'oeil, pénètrent à l'intérieur des bâtiments avec l'air qui s'infiltré à travers les joints de l'enveloppe et le système de ventilation.

Si ces spores rencontrent à l'intérieur, simultanément, une température suffisante, une humidité relative élevée et un support nutritif approprié, il y a germination donnant naissance aux moisissures.

A de très hautes humidités relatives, les moisissures se développent même sur les vitrages un peu salis. Chez l'espèce dominante, "Aspergillus-repens", la germination intervient à 85% d'humidité relative. Les autres espèces demandent une humidité plus importante pour se développer. Il y a une température minimale, maximale et optimale pour la germination des spores de chaque espèce particulière. A humidité relative favorable constante, le développement semble accéléré pour des températures comprises entre 25 et 32°C. C'est l'humidité relative et la température près des parois qui sont à prendre en compte.

#### I-3 Hygrométrie et santé

Un chapitre du dernier ouvrage de D. Mc INTYRE <sup>(3)</sup> fait le point sur ce sujet :

. une humidité relative faible est un facteur d'augmentation des chances d'infection.

. la dispersion des virus est influencée par l'humidité car les virus sont transportés par les particules de poussière : l'augmentation d'humidité relative fait s'agglomérer et se déposer ces particules.

. une humidification à l'intérieur des locaux, en hiver, est recommandée pour les personnes qui présentent des troubles respiratoires.



D'autres études <sup>(4)</sup> indiquent que la proportion d'étourdissements et de vertiges semble plus élevée lorsque l'humidité relative est inférieure à 50% et que les plaintes de nausées et de vertiges sont inversement proportionnelles à une augmentation de la température et de l'humidité relative.

On peut donc provisoirement conclure qu'une humidité élevée est favorable au confort thermique, sans aller jusqu'à saturation (prise en compte du mode constructif du bâtiment).

Cela est confirmé par M. CABANAC qui indique "qu'une atmosphère saturée en humidité n'est nullement étouffante ni agressive" <sup>(5)</sup>.

L'observation des relevés tri-horaires météo montre par ailleurs que des valeurs élevées de l'humidité relative se rencontrent dans la nature parfois pendant des périodes assez longues : 30 et 31 juillet 79, station d'Orange :

Heure T.U.	18	21	00	03	06	09	12
Température	30,2	25,2	23,5	23	22,4	25,7	29,6
Humidité%	40	89	98	99	98	74	60
Pression atm.	100510	100480	100450	100415	100380	100410	100440

Calcul teneur eau, g/kg	10,8	18,2	18,1	17,7	16,9	15,5	15,8
----------------------------	------	------	------	------	------	------	------

De telles situations se rencontrent plus fréquemment dans des régions plus humides, et il n'en résulte pas d'inconvénients.

### I-3 Hygrométrie et confort

Dans son ouvrage, Mc INTYRE rapporte que des expérimentations récentes avec une humidité relative variant entre 50 et 70% et une température de 23°C ne lui ont pas permis de mettre en évidence une sensation d'inconfort plus grande à 70% qu'à 50% d'humidité relative. Il conclut que la principale raison pour laquelle on limite l'humidité relative dans un bâtiment est la condensation sur les parois en contact avec l'extérieur et le risque de moisissures.

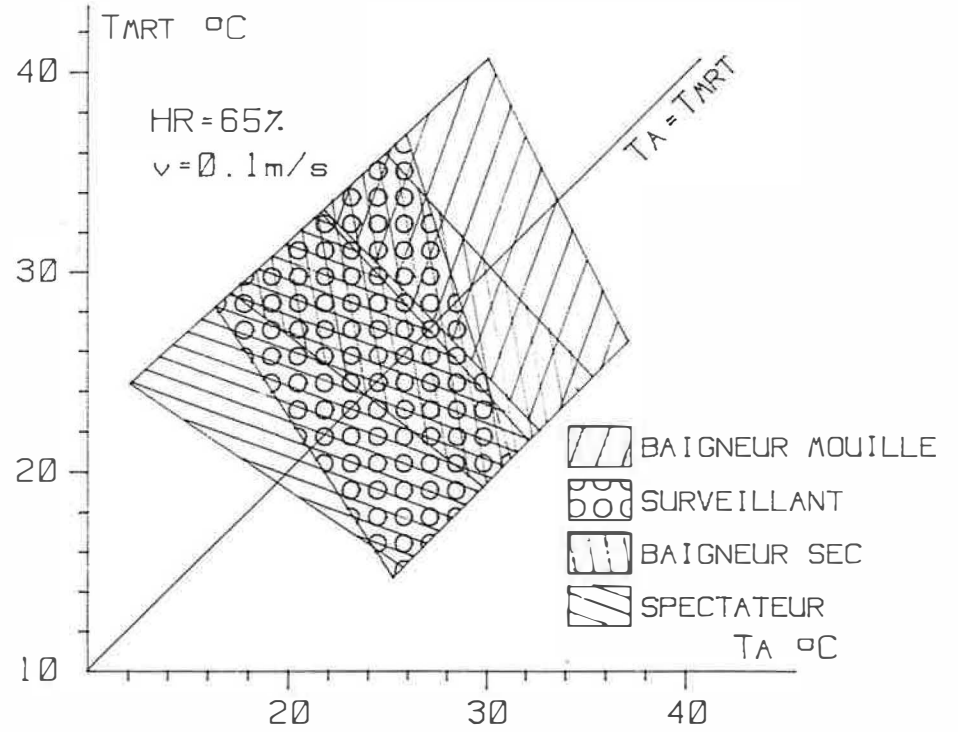
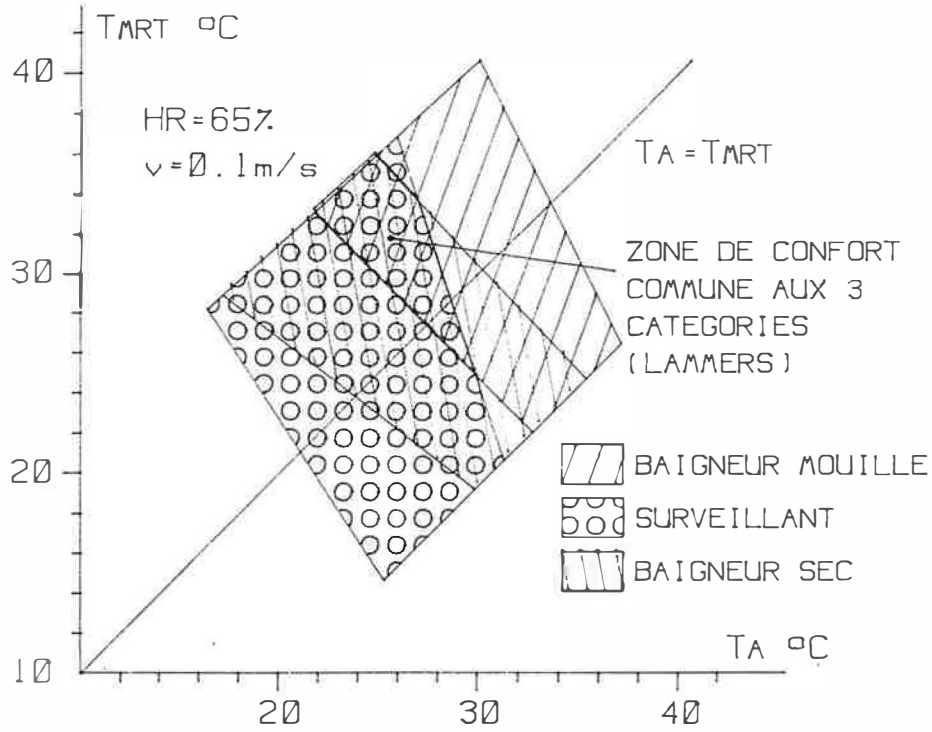
Les mêmes conclusions se dégagent de l'étude des paramètres de confort dans les piscines <sup>(6)</sup> où, pour une température variant entre 21,8 et 22,6°C et une humidité relative comprise entre 88% et 96%, sur 43 questionnaires les réponses suivantes ont été obtenues

. trop sec	:	7
. trop humide	:	10
. indifférent	:	19
. sans réponse	:	7

Dans une piscine, à l'exception du personnel, le public séjourne relativement peu de temps dans une ambiance climatique stable : les sensations sont donc influencées par les changements d'ambiance.

### I-4 Conclusion

On a vu précédemment qu'à l'intérieur du hall d'une piscine classique, la zone de confort thermique convenant à la fois au personnel de surveillance, aux baigneurs mouillés et aux baigneurs secs est relativement étroite.



D'APRES LAMMERS



Si on veut admettre des visiteurs dans la même ambiance, on constate que leur zone de confort est située en dehors de la zone précédente, dans le cas d'une hygrométrie conventionnelle de 65%, une vitesse d'air de 0,1 m/s (voir figure précédente).

La cohabitation entre visiteurs et baigneurs devra donc être étudiée soigneusement sur le plan thermique, surtout dans le cas où l'espace visiteurs est situé en partie haute du hall bassin (gradins, cafétéria visiteurs en mezzanine), ce qui aggrave la situation (il fait plus chaud en montant).

En dehors de la solution fiable qui consiste à séparer les ambiances (paroi vitrée), il est possible de déplacer la zone de confort "baigneurs mouillés" vers la zone "baigneurs secs" en augmentant l'humidité relative (dans la mesure où le bâtiment est conçu pour un tel mode de fonctionnement). La température sèche de l'air peut être diminuée et une cohabitation confortable de toutes les catégories de personnes devient possible.

Avec une température d'eau à 26°C et une température d'air d'environ 24°C, l'évaporation sera forte sur le plan d'eau. L'augmentation de l'humidité relative dans le hall (80%), permet la limitation de l'évaporation. La température moyenne radiante de la zone "baigneurs" sera maintenue à environ 23 °C.

Dans la pratique courante (bâtiments existants ou sans dispositif pare vapeur performant), on adoptera des conditions moins extrêmes pour le fonctionnement d'hiver : par exemple 24 à 25°C avec une humidité relative de l'ordre de 70 à 75 % ou 27 à 28°C avec une humidité relative de l'ordre de 60 à 65% (limitations pratiquement imposées par la plupart des systèmes constructifs).

Une approche différente du problème consisterait à satisfaire les besoins physiologiques des différentes catégories de personnes, à l'exception des baigneurs mouillés, et à prévoir pour ces derniers des dispositifs de réchauffage localisés à air chaud ou par rayonnement. On éviterait ainsi de chauffer l'ensemble du hall à un niveau correspondant au besoin temporaire d'une partie des baigneurs. Du même coup, les conditions de travail du personnel de surveillance seraient améliorées.

C'est cette dernière démarche qui a été adoptée dans les piscines d'un club de natation pour les raisons suivantes (7) :

. Les deux piscines sont principalement utilisées pour de l'entraînement et des compétitions : les nageurs séjournent donc plus longtemps dans l'eau et très peu restent en attente ou détente sur les plages.

Le maintien d'une température uniforme élevée à l'intérieur des halls bassins conduirait dans ce cas à un coût d'exploitation important sans nécessité.

. Le volume à chauffer uniformément est relativement important dans le cas de la piscine de 25 m comme dans celui de la piscine olympique : respectivement 11,23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> et 23,33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de bassin.

. Les nageurs qui ont séjourné longtemps dans l'eau ont épuisé leurs réserves et ont besoin d'une source de chaleur auxiliaire pour se réchauffer rapidement (eau de douche à température plus élevée que la température réglementaire (possibilité de réglage de température à chaque douche), apport de chaleur par rayonnement, etc...).



## II TEMPERATURE DE L'EAU

L'homme immergé en eau froide n'a que deux moyens pour compenser la fuite thermique due à l'abaissement de la température cutanée et à l'augmentation du gradient thermique noyau-périphérie : une augmentation de son métabolisme et une diminution de la conductance  $h_b$  par vasoconstriction cutanée <sup>(8)</sup>.

La température d'eau pour laquelle l'homme immergé est à la neutralité thermique varie suivant les auteurs et la définition de la neutralité thermique. Nous retiendrons les résultats de C. BOUTELIER qui détermine la zone de neutralité thermique en adoptant les critères physiologiques suivants :

- . un métabolisme constant et égal à celui observé à la neutralité thermique dans l'air, soit environ 47 à 48 W/m<sup>2</sup>.
- . une conductance noyau-périphérie du corps proche de celle trouvée dans l'air à la neutralité thermique : 15 à 17 W/m<sup>2</sup> C.
- . une chute légère de la température rectale pendant les 90 premières minutes de l'expérience pour tenir compte de la mise en repos du sujet. Cette température doit être de 36,7 à 36,8°C en période stable le matin pour des sujets à jeun.
- . une répartition classique des températures cutanées locales.
- . une sensation de confort thermique avec absence totale de frissons.

Les résultats obtenus par BOUTELIER au cours de 31 immersions de 90 à 160 minutes montrent que la zone de neutralité thermique est très étroite et ne s'étend que de 33,1 à 33,4°C.

La température d'eau d'une piscine étant en général inférieure à ces valeurs, la première réaction sera une sensation de froid entraînant une réaction métabolique initiale plus importante chez un sujet maigre que chez un sujet gras. Après cette première réaction, le métabolisme augmente progressivement pour tendre vers une valeur stable <sup>(8)</sup>.

Le niveau de 33°C constitue une limite haute, acceptable seulement dans le cas de séjours prolongés pendant lesquels le sujet reste immobile et détendu.

Dès qu'il y a mouvements dans l'eau (augmentation du métabolisme), cette température est excessive et conduit à un accroissement de la température interne du corps.

### II-1 Passage de l'air dans l'eau

La sensation de froid est accrue par deux facteurs :

a) le coefficient d'échange thermique entre le corps et le milieu (fonction de la vitesse relative du fluide) : il est approximativement donné par les formules suivantes :

. dans l'air :  $h_c = k \cdot v^{0.5}$  avec  $7,3 < k < 11,6$

. dans l'eau :  $h_c = k \cdot v^{0.5}$  avec  $k = 273$  (sans frissons)  
 $k = 497$  (avec frissons)

En l'absence de frissons, le coefficient d'échange thermique est donc 24 fois plus élevé dans l'eau que dans l'air.

La seule façon pour supprimer la sensation de froid résultant de ce phénomène consiste soit à ne pas se baigner, soit à se tremper dans de l'eau à une température proche de 33°C (si le sujet était au repos avant l'immersion).



Dans le cas où le sujet est dans une ambiance excessivement chaude avant l'immersion, tout changement qui tendra à le ramener vers la neutralité thermique sera perçu comme agréable <sup>(9)</sup> même si la température est telle que l'eau aurait été perçu comme glaciale en temps normal (exemple : passage d'un sauna à une douche ou à un bain froid pour un sujet en bonne santé).

b) la différence de température entre l'air et l'eau : si la température d'air est plus élevée que la température d'eau, les sujets auront tendance à trouver l'eau plus froide au moment de l'immersion. La tendance, quasi générale en France, de régler la température de l'air à 2°C au-dessus de la température de l'eau contribue donc à rendre les gens frileux.

Une enquête effectuée auprès de l'association des responsables de piscines d'Angleterre montre qu'Outre-Manche le problème est abordé différemment <sup>(10)</sup> :

. 50% des réponses indiquent des températures d'eau comprises entre 26,5 et 27°C.

. 60% des réponses indiquent des températures d'air égales ou inférieures à la température d'eau.

### II-2 Séjour dans l'eau

Pour des personnes qui nagent, la production métabolique due à l'exercice permet de compenser les pertes de chaleur <sup>(11)</sup> :

. dans de l'eau à 25°C, pour une vitesse de 0,75m/s (100 m en 2'22), on observe un accroissement de la température interne, aussi bien chez les sujets gras que chez les sujets minces (la production de chaleur interne excède la perte de chaleur).

Les sujets maigres conservent leur température interne inchangée.

. dans l'eau à 24°C, pour la même vitesse de natation, les sujets minces conservent une température interne stable après 20 minutes, les sujets maigres ont une légère baisse de la température interne (0,2°C) traduisant un bilan thermique légèrement négatif.

La température réglementaire de 26°C sera suffisante pour les utilisations de natation sportive ou de loisir. Pour des compétitions sportives, on préférera une température de 24°C.

Pour la détente et relaxation, la préférence ira vers des températures beaucoup plus élevées, jusqu'à 32°C (ce qui interdit la natation).

En ce qui concerne l'entraînement des nageurs de haut niveau, deux critères doivent être pris en compte :

a) le temps de séjour dans l'eau est très long (le métabolisme ne peut être maintenu à un niveau maximal pendant des heures).

b) le rendement, au sens mécanique, de nageurs entraînés est meilleur que celui de nageurs occasionnels <sup>(12)</sup> ce qui signifie qu'à vitesse de natation égale leur dépense d'énergie est plus faible. Pour éviter le refroidissement interne résultant d'un séjour prolongé dans l'eau, la température souhaitable peut être située à 27°C ou même être légèrement supérieure (à déterminer en fonction de la réaction des nageurs).

Enfin, dans le cas de bébés-nageurs, la température peut être légèrement inférieure à 32°C (30 ou 31°C par exemple) sans inconvénient à condition de ne pas prolonger le séjour dans l'eau au-delà du moment où la température interne commence à diminuer (l'été, les mêmes bébés supportent très bien la température relativement plus basse de l'eau au bord de mer).





Dans ces deux derniers cas (entraînement de longue durée pour les sportifs ou faible capacité thermique pour les bébés nageurs) où la température interne du corps tend à fléchir, il est utile d'avoir une source de chaleur permettant au nageur de retrouver rapidement sa température neutre à la sortie de l'eau (sauna, pièce à température plus élevée, système ponctuel d'apport de chaleur par rayonnement, douches à température plus élevée que les 34°C recommandés, etc...). Là encore, toute ambiance chaude, habituellement inconfortable, qui tendra à ramener le nageur vers l'équilibre thermique sera perçue comme agréable.

### II-3 Bains chauds, spas, thermes

Dans les piscines de loisirs qui se développent actuellement, on trouve des spas qui sont de petits bassins de relaxation avec jets d'eau et pulvérisation de bulles d'air.

Une certaine surenchère conduit les exploitants et concepteurs à préconiser des températures de l'ordre de 37°C et plus pour éviter d'imaginaires sensations de froid dues à l'agitation de l'eau et aux bulles d'air.

Une telle température n'est absolument pas justifiée sur le plan du confort thermique : la zone de neutralité étant en effet de 33°C, il suffit que la température soit légèrement supérieure à ce seuil pour trouver l'eau chaude. Dans ce cas, l'agitation créée par les jets et les bulles augmentera le coefficient d'échange thermique entre le corps et l'eau et accroîtra cette sensation de chaleur par rapport à un séjour en eau calme, quelle que soit la durée de l'immersion.

Ce n'est qu'en se plaçant à une distance très faible des buses d'injection d'air (1 à 2cm) que l'on ressentira des zones de fraîcheur de quelques mm<sup>2</sup> dues à l'évaporation de l'eau, cette impression n'étant nullement désagréable d'ailleurs.

Même avec une température d'eau de l'ordre de 33,5 à 34°C, il n'est pas possible de s'immerger brutalement dans un spa car la température moyenne du corps, avant immersion est inférieure à la température de neutralité thermique (surtout si l'on sort d'un grand bain dont la température est comprise entre 27 et 28°C).

On notera enfin qu'une température de spa égale ou supérieure à 37°C peut être dangereuse chez des sujets âgés ou ayant des problèmes cardiaques (risques de syncope provoquée par le stress thermique). Le repérage d'une personne en difficulté dans un spa peut ne pas être immédiat à cause du manque de transparence de l'eau (pulvérisation d'air).

Enfin, une température élevée est favorable au développement de bactéries, légionelle entre autres (13), et accroît la vitesse de réaction du chlore sur les matières organiques. Avec l'agitation créée par l'injection d'air, on obtient un dégagement de chloramines et autres composés chimiques à la surface du bassin, très désagréable.

Pour les bassins de loisirs et détente de grande superficie (type CARACALLA et TAUNUS THERME en Allemagne, CALDEA en Andorre), l'objectif est la recherche de la neutralité thermique convenant à la détente, avec une température d'eau comprise entre 31.5 et 32.5°C (par opposition on pourrait qualifier de "confort relatif" les températures plus faibles convenant à la pratique de la natation sportive, d'entraînement ou de loisir).

Le niveau de "confort relatif" dépend des habitudes, cultures, époques et activités pratiquées : par exemple, les températures d'eau étaient plus faibles il y a quelques décennies.

Par opposition, on peut parler de "confort absolu" lorsque la température d'eau correspond à la neutralité thermique : il est indépendant des facteurs subjectifs.



### III QUALITE DE L'AIR

Les problèmes de qualité d'air revêtent deux aspects :

- . les odeurs ou gênes diverses dues à des composants chimiques ou biologiques contenus dans l'air intérieur.
- . les symptômes pathologiques qui peuvent toucher en priorité les personnes les plus sensibles, ou l'ensemble de la population dans les cas les plus extrêmes : dans ce dernier cas, ces symptômes sont un révélateur de l'existence d'un problème sérieux de fonctionnement général de la piscine.

Les manifestations les plus fréquemment rencontrées sont les suivantes <sup>(14)</sup> :

- . fatigue
- . maux de tête
- . vertiges et étourdissements
- . irritations, particulièrement des yeux, et au niveau des voies respiratoires supérieures (nez, gorge).
- . irritations cutanées.

#### III-1 SOURCES DE POLLUTION

##### III-1.1 Pollution humaine

La pollution la plus connue est celle due à la présence humaine à l'intérieur d'un volume clos :

- . respiration : CO, CO<sup>2</sup>, H<sup>2</sup>O, bioeffluents (odeurs).
- . transpiration et perspiration : H<sup>2</sup>O, bioeffluents (odeurs).

Cet aspect est traité par le règlement sanitaire réglementaire type <sup>(15)</sup> qui préconise des débits de renouvellement d'air en fonction du type de locaux.

##### III-1.2 Bassin

La deuxième source de pollution propre aux piscines couvertes provient du bassin lui-même :

. vapeur d'eau : ne constitue pas à proprement parler une pollution. Se manifeste par une humidité relative plus ou moins forte à l'intérieur du hall bassin, et éventuellement par des condensations sur les parois extérieures par temps froid.

Si ces condensations sont permanentes, des moisissures peuvent se développer sur les parois humides, donnant à leur tour des pollutions.

. composés organochlorés (chlore combiné) : résultent de la réaction chimique entre les produits de désinfection (principalement chlore) et les matières organiques introduites dans l'eau par les baigneurs, ou même provenant du réseau d'eau potable.

Certains organochlorés (trichloramine NCl<sub>3</sub>) sont très volatils et irritant : sous l'effet du brassage de l'eau par les baigneurs, ils s'évacuent en surface et se retrouvent dans l'air du hall bassin <sup>(16)</sup>.

Le taux de chlore combiné dans l'eau dépend de la qualité de l'eau d'appoint (teneur en matières azotées de l'eau distribuée par le réseau) et de la fréquentation. Lorsque la fréquentation moyenne journalière est supérieure à 1/2 volume du bassin, le taux de chlore combiné dépasse la valeur limite réglementaire de 0.6 mg/l <sup>(22)</sup>, d'où une augmentation de la pollution de l'air. Ce phénomène est surtout lié aux bassins de faible profondeur, type loisirs où le volume d'eau est



faible et la fréquentation importante (volume d'eau disponible par baigneur faible). Les solutions à ce problème sont :

- . hygiène personnelle (douches avec distributeurs de savon)
- . augmentation des appoints journaliers, principalement pour les bassins type loisirs de faible profondeur.
- . traitement spécifique de l'eau de ces bassins (ozone, destructeurs de chloramines).

Il n'existe à l'heure actuelle aucune réglementation spécifique concernant le renouvellement de l'air en piscine, ni même aucune base permettant de prévoir le débit d'air de renouvellement en fonction des émanations provenant du plan d'eau (à l'exception du cas de la vapeur d'eau dont le débit peut se calculer).

### III-1.3 Produits de nettoyage

La troisième source de pollution, provient des produits d'entretien et de désinfection largement utilisés pour le nettoyage des plages et accessoires.

### III-1.4 Matériaux constitutifs du bâtiment

Les matériaux traditionnels (carrelages, béton, vitres, ..) ne sont pas polluants. Il n'en n'est pas de même des matériaux modernes de plus en plus utilisés (colles, résines, vernis, lasures du bois, lamellés-collés, peintures, certains isolants, revêtements plastique, certaines résines de bassin qui donnent des réactions avec le chlore, etc.. l'ensemble dégageant dans l'air divers polluants (formaldéhydes, composés organiques volatils, etc..).

### III-1.5 Systèmes de traitement d'air

En principe ils sont là pour assainir l'atmosphère.

Dans la pratique (voir photos page 11), on constate qu'ils peuvent apporter des nuisances (connues sous l'appellation générique de "syndrome des immeubles climatisés"). Les résultats d'études entreprises dans les années 80 montrent que l'inconfort provient d'une pollution apportée par ces systèmes (problèmes de maintenance, débits d'air neuf insuffisants, défauts de conception).

Outre les pathologies légères signalées plus haut, ces systèmes peuvent engendrer des accidents plus graves (maladie du légionnaire lorsque des aérosols d'eau contaminée sont diffusés par les systèmes aérauliques).

### III-1.6 Air extérieur

L'air extérieur peut également apporter sa pollution : pollens, gaz d'échappement provenant de la circulation automobile, gaz de combustion des systèmes de chauffage (piscine elle-même ou autres bâtiments voisins), ventilation de locaux techniques dont l'air est repris partiellement, prises d'air neuf situées sous le vent des extractions d'air.

## III-2 TRAITEMENT DE L'AIR

Le traitement le plus simple et le plus efficace consiste à remplacer l'air pollué par ces différentes sources, de façon à diminuer la concentration de tous les composés indésirables.



### III-2.1 Débit d'air neuf

Le règlement sanitaire indique un débit d'air neuf minimal de 22 m<sup>3</sup>/h.personne dans le cas du hall bassin, et de 18 m<sup>3</sup>/h.personne pour les spectateurs (avec interdiction de fumer maintenant généralisée), et une concentration maximale de 1.3 pour mille en ce qui concerne le taux de CO<sup>2</sup> (avec interdiction de fumer).

a) Les essais effectués dans divers laboratoires montrent que ces débits sont insuffisants pour l'obtention d'une qualité d'air acceptable : Fanger trouve par exemple qu'un renouvellement en air non pollué de 27 à 29 m<sup>3</sup>/h.personne permet de limiter le taux de mécontents à 20% (cas des bâtiments sans pollution spécifique). Pour ramener le taux de mécontents à 10%, il faut passer à 61 m<sup>3</sup>/h.personne. Dans cette étude, la source de pollution est uniquement d'origine humaine (personne standard, en confort thermique) <sup>(17)</sup>.

Dans le cas de pollution par bio-effluents humains, une adaptation rapide se produit (au bout de 1 à 3 minutes) et la qualité de l'air devient plus acceptable. Cette adaptation aux odeurs dépend des types de sources polluantes.

b) lorsqu'il y a des irritants dans l'air (ce qui est les cas en piscine avec les organochlorés volatils et certains polluants provenant des matériaux ou des produits d'entretien), il n'y a pas adaptation mais, au contraire, accroissement de l'irritation et de l'inconfort avec le temps d'exposition <sup>(17)</sup>.

c) la nouvelle norme 62-1989 de l'ASHRAE propose un taux maximal de CO<sup>2</sup> limité à 1.0 pour mille, afin d'obtenir une qualité d'air acceptable (la mesure du taux de CO<sup>2</sup> facile à effectuer).

Des réactions d'inconfort sont signalées à partir de 0.6 pour mille <sup>(18)</sup>.

A partir de 0.8 pour mille, l'odeur de bio-effluents humains commence à devenir nettement perceptible par rapport à l'odeur de l'environnement <sup>(19)</sup>.

d) le calcul des besoins d'air neuf permettant la limitation du taux de CO<sup>2</sup> successivement à 1 pour mille et à 0.8 pour mille, permet de constater par ailleurs l'insuffisance du débit réglementaire de 22 m<sup>3</sup>/h.personne.

Les facteurs suivants sont pris en compte :

. métabolisme moyen des baigneurs :

- 1.5 met (70 W/m<sup>2</sup>) : activité équivalente à "debout, relaxé".

- 2.0 met (93 W/m<sup>2</sup>) : activité équivalente à "debout, léger travail".

. rendement de diffusion de l'air neuf : 0.8 (système déjà performant).

. pollution de l'air extérieur : 0.3 pour mille (il n'est pas rare de trouver des valeurs supérieures à certains moments de la journée, en site urbain).

Les résultats suivants sont obtenus <sup>(20)</sup> :

Métabolisme moyen	1.5 met (70 W/m <sup>2</sup> )		2.0 met (93 W/m <sup>2</sup> )	
Taux limite CO <sup>2</sup> adopté	1.0	0.8	1.0	0.8
Débit d'air/personne	32.8 m <sup>3</sup> /h	46.0 m <sup>3</sup> /h	42.2 m <sup>3</sup> /h	59.1 m <sup>3</sup> /h

e) le décret n°84-1093 du 7/12/1984 (locaux de travail, aération et assainissement) indique des débits d'air minimaux qui sont fonction, dans une certaine mesure, du niveau d'activité (locaux à pollution non spécifique) <sup>(21)</sup> :



Désignation des locaux	Débit minimal d'air neuf (m <sup>3</sup> /h.occupant)
Bureaux, locaux sans travail physique	25
Locaux de restauration, locaux de vente, locaux de réunion	30
Ateliers et locaux avec travail physique léger	45
Autres ateliers et locaux	60

On observe une concordance entre les résultats calculés en (d), les valeurs réglementaires et les résultats obtenus par FANGER (a) : environ 60 m<sup>3</sup>/h.pers.



## EXEMPLES DE POLLUTION DE L'AIR PAR LES INSTALLATIONS AEREAULIQUES

PHOTO 1 : Filtre complètement encrassé

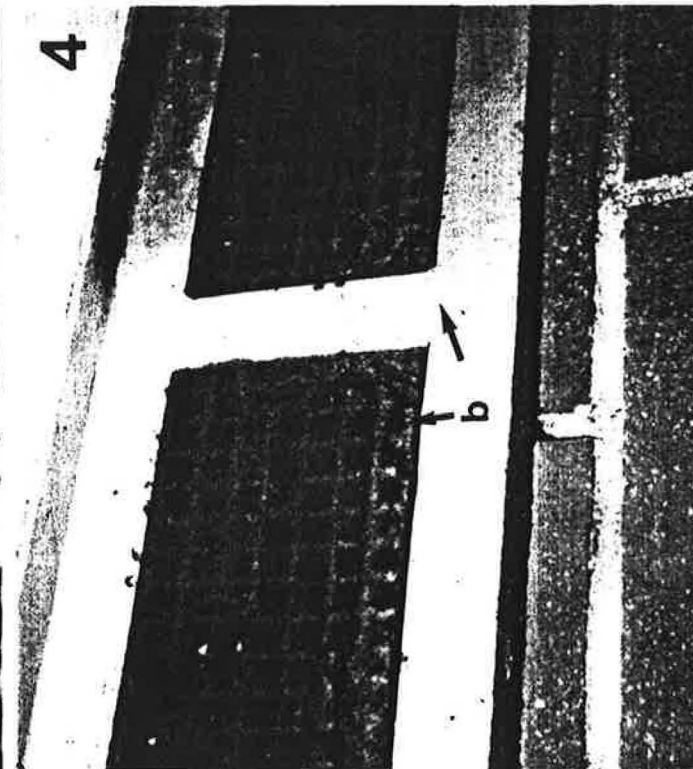
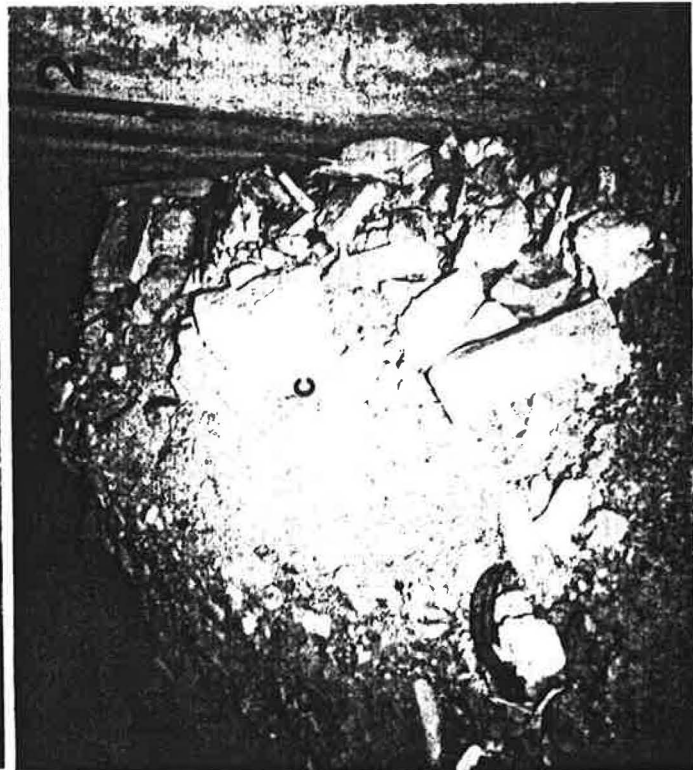
PHOTO 2 : Gravats dans galerie ouverte sur 3

PHOTO 3 : Galerie de soufflage hall bassin

PHOTO 4 : Grille de reprise intér., mailles 10

a : ressaut créant des pertes de charge singulières  
c : matériaux divers pouvant polluer l'air

b : poussière compactée 1 cm d'épaisseur  
d : parois rugueuses (pertes de charges, érosion)





### III-2.2 Déshumidification

Trois systèmes peuvent être utilisés :

- . déshumidification par renouvellement d'air avec modulation du débit en fonction de l'hygrométrie intérieure : système très courant.
- . déshumidification par PAC et par air neuf dont le débit est généralement déterminé à partir du règlement sanitaire, pour la fréquentation maximale instantanée : beaucoup de réalisations depuis la première crise de l'énergie.
- . déshumidification par absorption (système type Munters) et par air neuf : très rare, cité pour mémoire.

a) Le premier système conduit systématiquement à des débits d'air supérieurs aux préconisations du règlement sanitaire : il n'y a généralement pas d'inconfort dû à la pollution de l'air intérieur (odeurs ou irritations), sauf problème anormal du traitement d'eau, ou pollution de l'air de renouvellement. Dans ces deux cas, il faut rechercher les causes de cette pollution et les éliminer.

b) Le deuxième système, généralement surdimensionné (PAC trop puissante), avec un débit d'air neuf réduit au minimum réglementaire a conduit à de nombreux déboires.

Les défauts habituellement rencontrés sont les suivants :

- . mauvaise qualité de l'air intérieur : odeurs, irritation des muqueuses, allergies, malaises pour le personnel de piscine dans quelques cas extrêmes.
- . surchauffes du hall bassin ou de l'eau du bassin lorsque les besoins sont faibles, en demi-saison (mauvais dimensionnement et mauvaise conception de l'installation).
- . surcoût d'installation de la PAC compensé par une simplification des autres travaux : d'ou systèmes de diffusion d'air inadaptés, etc...
- . coût d'exploitation plus élevés que les prévisions, pour les raisons principales suivantes :
  - personnel technique non formé.
  - modification des consignes de fonctionnement pour améliorer la qualité de l'air (augmentation du débit d'air neuf, parfois arrêt complet de la PAC).
  - installation mal conçue, système de régulation inadapté ou défaillant.
  - mauvais entretien (contraintes budgétaires ou manque de qualification).

Quel que soit le système utilisé, une mauvaise maintenance entraîne des problèmes de qualité d'air et des surcoûts d'exploitation.

c) entre les deux solutions précédentes (tout air neuf modulable et air neuf minimal + PAC), une voie intermédiaire consisterait à prévoir une déshumidification partielle de l'air du hall bassin, et à conserver un appoint d'air neuf en débit variable suivant le taux d'occupation. Les composants de cette centrale seraient déterminés de façon à pouvoir fonctionner sans l'apport de la PAC.

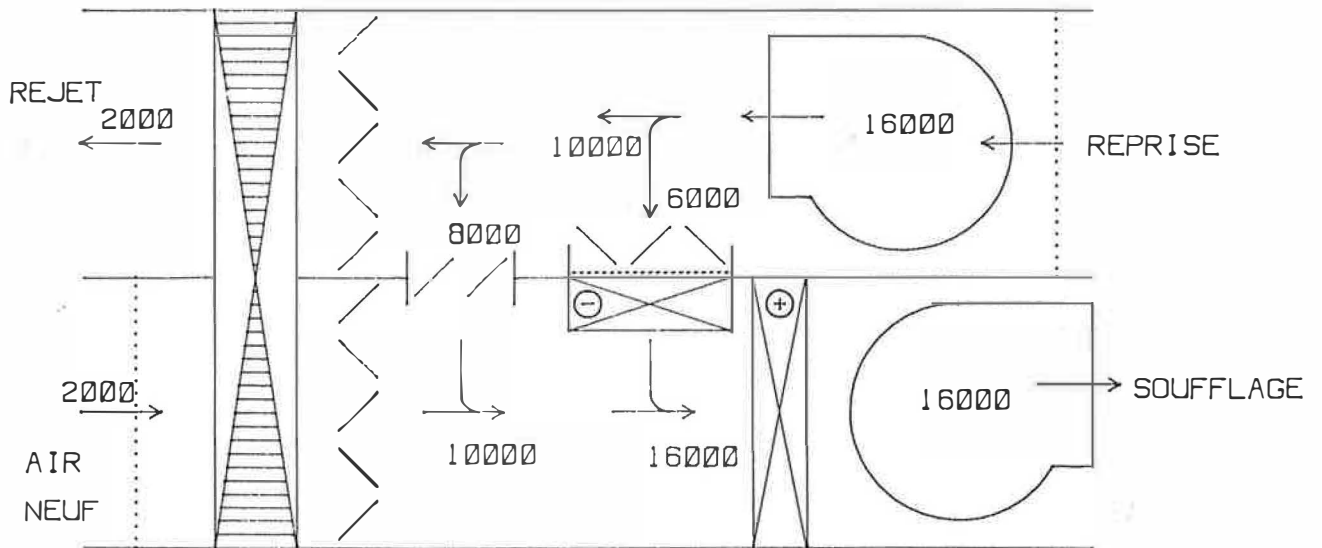
Le schéma de fonctionnement indicatif page suivante correspond à une piscine ayant les caractéristiques suivantes :

- un hall bassin, d'une superficie totale (compris plan d'eau) de 640 m<sup>2</sup>.
- un bassin de 25 x 12.50 m : 312.50 m<sup>2</sup>

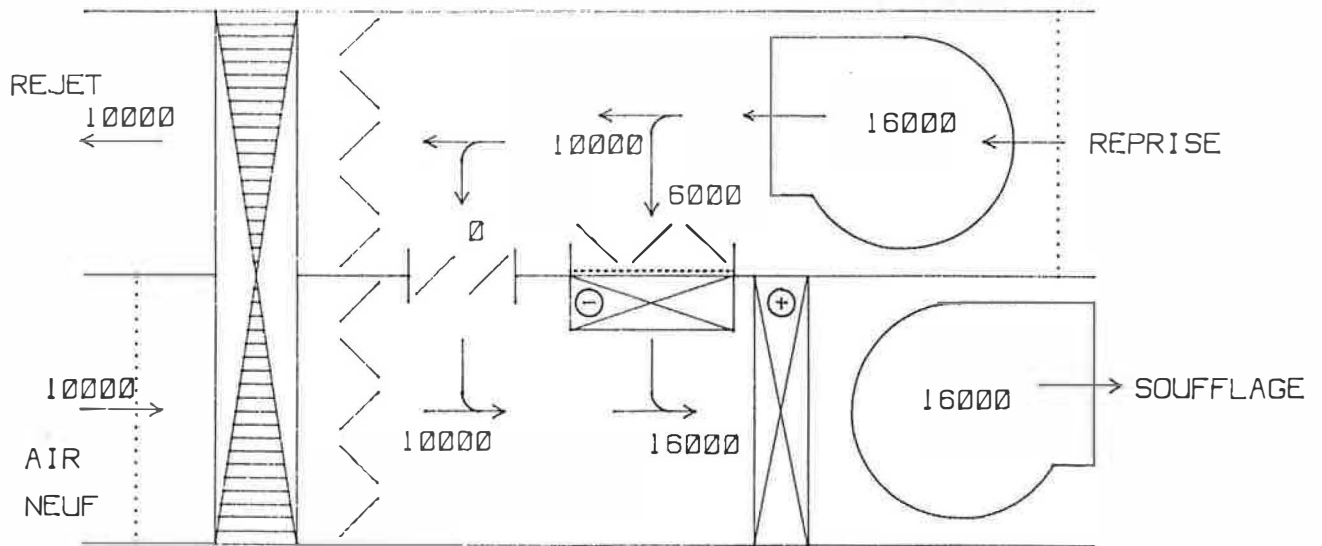
La PAC serait conçue de façon à déshumidifier partiellement l'air du hall bassin, avec restitution de chaleur sur le bassin, tout en conservant l'appoint d'air neuf en débit variable suivant le taux d'occupation (fonction régulée obligatoirement à partir de la mesure de l'hygrométrie intérieure, et non pas manuellement).



### HORS OCCUPATION



### OCCUPATION, ETE



### SCHEMA CENTRALE AVEC PAC





Cette centrale, équipée de 2 compresseurs frigorifiques aurait les caractéristiques suivantes :

. hors occupation, débit minimal d'air neuf égal à 2000 m<sup>3</sup>/h (assainissement de l'air intérieur, et concours à la déshumidification). Déshumidification assurée principalement par la PAC dont le dimensionnement serait prévu pour ne traiter qu'une fraction de l'évaporation du bassin *hors occupation*, dans les conditions d'hiver.

. en occupation, le débit d'évaporation à traiter devenant plus important en fonction de la fréquentation, la déshumidification serait assurée à la fois par la batterie froide de la PAC et par une augmentation automatique des débits d'air neuf et d'air extrait.

. une récupération de chaleur "statique" serait prévue sur l'air extrait (échangeur rotatif non hygroscopique de rendement supérieur ou égal à 70%, ou système de récupération présentant les mêmes performances).

L'objectif est de conserver des débits d'air neuf toujours supérieurs à ceux dictés par la réglementation, augmentant de façon automatique avec la fréquentation, contrairement à ce qui se passe dans le cas (b).

Le système doit permettre une augmentation automatique du débit d'air neuf en cas de besoin (surchauffe par exemple), par la régulation de température intérieure devenant prioritaire sur l'hygrométrie : été et demi-saison ensoleillée. En cas de problème de pollution de l'air (odeurs et gêne dues à la présence de composés organochlorés dans l'air), l'arrêt manuel d'un (ou deux compresseurs) se traduirait automatiquement par une augmentation du débit d'air neuf, la centrale fonctionnant alors comme une centrale classique.

Les caractéristiques de la centrale seront les suivantes :

. calorifugeage double peau, épaisseur d'isolation équivalente de 30 à 50 mm de laine minérale.

. débit de soufflage et de reprise : 16 000 m<sup>3</sup>/h, ventilateur à grande turbine à action.

. prises de pression pour contrôle de colmatage des filtres prévues par le constructeur de centrale.

. filtres d'air neuf et d'air extrait de protection de l'échangeur rotatif, de classe EU 5 (les exigences du règlement sanitaire départemental type, T.I.G. n° 1448 : 90 % pour l'air neuf et 95 % pour l'air recyclé au test gravimétrique défini par la norme NF X 44-012 étant insuffisantes pour la qualité d'air <sup>(3)</sup>).

. les débits de ventilation doivent éventuellement être ajustés lors des essais pour obtenir les valeurs prévues à +/- 5%

. débits soufflés et repris équilibrés pour tous les réglages des registres d'air (registres à caractéristique linéaire et pertes de charge égales entre la voie de recyclage et les voies air neuf et air extrait).

. récupération de chaleur à faible perte de charge récupérant la chaleur sensible uniquement, média traité contre la corrosion (traces de dérivés chlorés dans l'air humide extrait du hall bassin) :

- débit maximal d'air neuf passant sur le récupérateur : 16 000 m<sup>3</sup>/h.

- débit maximal d'air extrait passant sur le récupérateur : 16 000 m<sup>3</sup>/h.

- rendement égal à 80% pour les conditions de base suivantes : air extérieur -2°C, 85% ; air intérieur 27°C, 65% ; débits air neuf et extrait 10 000 m<sup>3</sup>/h.

. batterie de chauffe déterminée en tenant compte de la récupération de chaleur et du recyclage partiel d'air (puissance et nombre de rangs réduits).

. voie de by-pass fixe avec batterie de déshumidification à détente directe :

- poids d'eau à condenser : 34 kg/h.

- débit d'air traité sur évaporateur : 6000 m<sup>3</sup>/h.



- entrée évaporateur : 27°C, 60 à 65%
- sortie évaporateur : 12°C, 95%
- puissance : 2 x 26.5 kW.
- températures d'évaporation/condensation : +6 / + 40°C.
- . deux compresseurs hermétiques :
  - puissance absorbée : 2 x 6.5 kW
  - fluide frigorigère R 22.
  - puissance totale condenseur à eau : 2 x 31.6 kW
- . évaporateur tube cuivre, ailettes cuivre ou Cu-alu avec revêtement époxy.
- . deux condenseurs inox 28 CNDT 18-12 (AISI 316 TI) 31.6 kW unitaire, pour entrée d'eau à 28°C (eau de piscine traitée au chlore).
- . bac de récupération des condensats résistant à la corrosion (chlore).
- . registres de modulation d'air neuf, air extrait et air recyclé à caractéristique linéaire (ailettes //).
- . registre d'obturation du by-pass évaporateur, tout ou rien (fonctionnement en mode PAC ou en mode déshumidification par air neuf modulé).

Un compteur électrique particulier à émetteur d'impulsions doit être prévu sur l'alimentation électrique de cette centrale.

La régulation d'hygrométrie agirait en cascade sur les compresseurs frigorigères, puis sur les volets motorisés des volets d'air. Pendant les heures de pointe d'hiver, la priorité serait donnée à la déshumidification par air neuf, les groupes frigorigères n'intervenant qu'en appoint.

Prévoir des boutons poussoirs à impulsions placés dans le local M.N.S. pour l'arrêt d'un ou deux groupes pendant une durée pré-réglée (relais temporisé en armoire local technique, ou programme de la centrale de gestion) : arrêt se traduisant automatiquement par une demande d'air neuf plus importante (action de la régulation d'hygrométrie).

Le fonctionnement des groupes doit être asservi à la circulation d'eau dans chacun des condenseurs.

Pendant les heures de tarification pointe EDF, interruption du fonctionnement de la PAC : marche classique (air neuf modulé en fonction de l'hygrométrie intérieure).

Les comptages et automatismes suivants doivent être prévus :

- . *temps de fonctionnement de chaque compresseur : 2*
- . *arrêt de la PAC à partir du signal TA "heures de pointe" EDF (ligne pilote EDF).*
- . *défaut de circulation d'eau dans condenseur : 1*
- . *alarme PAC : 1*
- . *comptage électrique PAC (impulsions) : 1*



## BIBLIOGRAPHIE

- (1) : Air pollution, G. BRUNDRETT, the Journal of the C.I.B.S., March 1981, p 39.
- (2) : Moulds in the home, G.W. BRUNDRETT and A.H.S. ONIONS, June 1980, ECR/m 1338.
- (3) : Indoor climate, D.A. McINTYRE, Applied Sciences Publishers, ISBN 0853 34 868 5, 1980.
- (4) : Studying Air Ionisation and Effects on Health, Dr. L.H. HAWKINS, Dept. of Human Biology and Health, University of Surrey - Building Services & Environmental Engineer, April 1981.
- (5) : M.CABANAC, Département de Physiologie, Faculté de Médecine, Université LAVAL, QUEBEC, 61 K 7 P4 : communication personnelle.
- (6) : Etude des paramètres de confort dans les piscines, H.FARNALLIER, convention d'étude pour le Ministère de la Jeunesse, des Sports et des Loisirs, n°4080, mai 1981.
- (7) : Diagnostic énergétique des installations et bâtiments du Cercle des Nageurs de Marseille, H.FARNALLIER, mai 1984.
- (8) : Survie et protection des équipages en cas d'immersion accidentelle en eau froide, C.BOUTELIER, Laboratoire de Médecine Aérospatiale, Centre d'Essais en Vol, BRETIGNY-SUR-ORGE, AGARDograph n° 211 (FR), Janvier 1979.
- (9) : Les signaux physiologiques du confort thermique, M.CABANAC, INSERM, décembre 1977 Volume 75 p.27-38.
- (10) : Wise use of energy in swimming pool design, G.D.BRAHAM, Electricity Council, The Heating and Ventilation Engineer, December 1975.
- (11) : Energy exchanges of swimming man, E.R.NADEL, I.HOLMER, U.BERGH, P.O.ASTRAND & J.A.J.STOLWIJK, Journal of Applied Physiology, vol. 33 n°4, April 1974.
- (12) : Oxygen uptake during swimming in man, INGVAR HOLMER, Dept. of Physiology, Gymnastic, STOCKHOLM, Journ. of Applied Physiology vol. 33 n°4, October 1972.
- (13) : Legionella : Impact on Water Systems in Buildings, J.C.FEELEY & G.K.MORRIS, Ashrae Technical Data Bulletin Vol.7, N°4 (Ashrae Meeting, June 1991).
- (14) : Doctors, Lawyers and Building-associated diseases, M.J.HODGSON & C.A.HESS, Ashrae Journal vol. 34, n°2, Feb. 1992.
- (15) : Règlement sanitaire départemental type, T.I.G. n°1448 (éditions du J.O.).
- (16) : Evolutions comparées de la formation d'organochlorés volatils en piscine pour divers désinfectants, P.SCOTTE, Colloque National Piscines et Santé, 17-19/06/1985.
- (17) : Ventilation requirements based on subjective responses, OLE FANGER, Indoor Air Quality Update, Vol. 3, n°10, Oct. 1990.
- (18) : Indoor air quality evaluation at a new office building, R.A.GROT & al, Ashrae Journal vol. 33, n°9, Sept. 1991.



(19) : Olfactory evaluation of indoor air quality, B.BERGLUND & Th.LINDVALL, Dept. of Environmental Hygiene, Institute and Swedish Environment Protection Board, Sweden 1978.

(20) : Mission d'assistance technique à la Maîtrise d'Ouvrage (SICAMO, Caisse des Dépôts), H.FARNALLIER, juin-août 1989.

(21) : Décret n°84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984, T.I.G. n°84-153 : aération et assainissement, art. R 232-1-3.

(22) : Evolution de la teneur en chlore combiné en fonction du volume d'eau disponible par baigneur, étude E.N.S.P., laboratoire du Professeur SEUX.