

La déshumidification à l'eau des piscines



Invention de Alain GARNIER

**Bureau d'Etudes Energie & Fluides
20 rue Chanteraine 51100 Reims**

Tél. 03 26 82 71 04

<http://www.be-garnier.fr/>

Membre de AICVF et de ICO

Sommaire

1	Présentation de l'innovation	3
1.1	Contexte	3
1.1.1	La piscine du futur : les enjeux	3
1.1.2	La consommation d'énergie d'hier	3
1.1.3	Bien connaître sa consommation d'énergie	5
1.1.4	Consommation d'énergie d'aujourd'hui	7
2	L'innovation	9
2.1.1	Consommation d'énergie de demain (2020)	9
2.1.2	Pourquoi un aéroréfrigérant en piscine ?	9
2.1.3	Le cœur du système lui même	11
2.1.4	Consommation d'énergie à partir de 2020	13
2.1.5	Analyse fonctionnelle de la production de froid pour la déshumidification	14
3	Avant de mettre en œuvre cette nouvelle solution	16
3.1	Les fondamentaux à respecter	16
3.1.1	Le 1 ^{er} : Hygrométrie et confort	16
3.1.2	Le 2 ^{ème} : Le traitement d'air pour la déshumidification	17
3.1.3	Le 3 ^{ème} : La distribution d'air	18
3.2	Quelques conseils portant sur le dimensionnement	18
3.3	Perspectives d'avenir de ce système	18
4	Consommation et gain d'énergie	20
4.1	Difficulté de mesurer le gain d'énergie	20
4.1.1	Gain propre à la déshumidification thermodynamique	20
4.1.2	Gain latent et sensible propre à la déshumidification sèche et humide	20
4.1.3	Gain propre au refroidissement adiabatique et au réchauffage enthalpique	20
4.2	Gain sur le froid pour la déshumidification	21
4.2.1	Le gain de consommation d'énergie est de 3 ordres	21
4.2.2	Calcul approché du gain	22
4.2.3	Si on voulait aller encore plus loin en matière d'économie d'énergie	22
5	Documents annexes	24
5.1	Qu'est-ce que le free-chilling ?	25
5.1.1	Définition du free chilling	25
5.1.2	Jouer avec la météorologie	25
5.1.3	Les différents types de free-chilling	28
5.1.4	Les différents modes de fonctionnement	30

1 PRESENTATION DE L'INNOVATION

1.1 CONTEXTE

C'est une toute nouvelle solution de déshumidification des piscines qui vous est présentée ci-après.

Associé à une déshumidification thermodynamique, elle est capable de diminuer de moitié la consommation d'énergie thermique des piscines. Elle a, de plus, été pensée en terme de coût global et de développement durable.

Elle est le résultat de recherches et d'essais effectués en secteur industriel et tertiaire laquelle a été transposée pour les piscines. Cette innovation a fait l'objet d'un dépôt de brevet à l'INPI.

C'est un concept global qui répond bien aux buts recherchés qui sont d'obtenir le meilleur coût global et de recourir au maximum aux EnR pour réduire la consommation en particulier fossile et se mettre en parti à l'abri des fluctuations internationales en matière de coût d'énergie.

De plus, elle peut être installée en neuf comme en existant et elle est peu compliquée à mettre en œuvre et à entretenir.

1.1.1 La piscine du futur : les enjeux

La France accuse un retard par rapport à son objectif de construction de piscine. Aussi, il s'en construit de plus en plus et c'est loin d'être fini. La seule incitation à réduire la consommation d'énergie réside dans la rapidité d'amortissement, celle-ci peut être accélérée par des aides publiques mais qui ne sont données que si la certification CERTIVEA Piscine (CSTB) est obtenue.

Rappelons que la piscine représente le bâtiment le plus énergivore de tous et que si l'on arrive à trouver des solutions performantes permettant de diminuer sa consommation d'énergie, on y arrivera tout autant dans les autres secteurs car les réflexions acquises sont à peu près identiques.

Le plan d'action national en faveur des énergies renouvelables de 2020 demande de recourir aux EnR à raison de 23% minimum.

Les réflexions qui ont amenées à trouver des solutions d'économie d'énergie ainsi qu'une substitution en EnR ne sont donc pas un exercice de style. Il faut plutôt y voir une façon de se poser les bonnes questions et en repartant des fondamentaux concevoir des installations de bon sens.

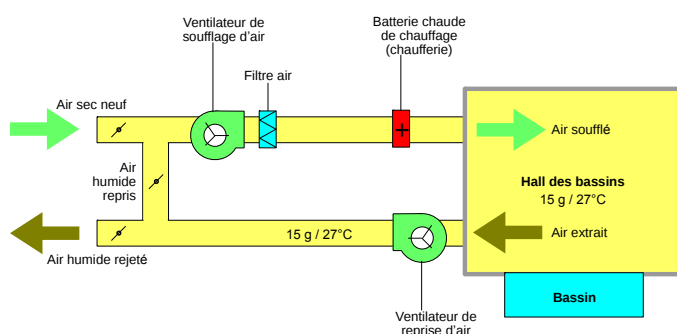
1.1.2 La consommation d'énergie d'hier

En 1960, La consommation d'énergie calorifique d'une piscine, y compris de ses locaux annexes, était d'environ 4000 kWh/m² de plan d'eau. Si on a gagné 1100 kWh/m² de plan d'eau en 15 ans, c'est essentiellement du à l'isolation thermique et à un meilleur calfeutrement à l'air du bâtiment.

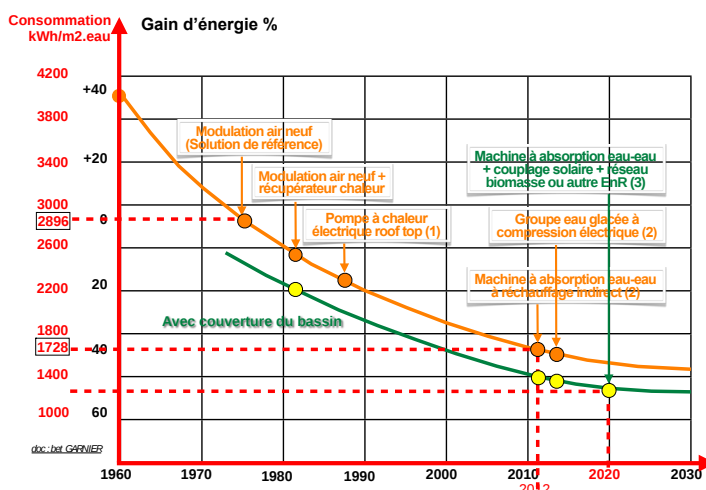
En 1975, la consommation d'énergie calorifique d'une piscine était donc arrivée à 2850 kWh/m² de plan d'eau, elle comportait alors une déshumidification basique réalisée par une simple modulation du débit d'air neuf. Comme il n'existe pas de réglementation thermique pour les piscines, plus de 95 % de celles existantes comme neuves sont construites sur ce principe, c'est donc devenu le système de référence.

Ce système qui est toujours utilisé aujourd'hui après 40 ans, n'est toujours pas interdit alors que l'on nous parle de BBC, de BEPAS et de BEPOS ... Il y a là un sérieux paradoxe.

Système classique de déshumidification et de chauffage des années 70 :
Modulation du débit d'air neuf et réchauffage - Doc. A. GARNIER (2011)



Evolution de l'efficacité énergétique des systèmes énergétiques utilisés dans les piscines - Doc. A. GARNIER (2011)



- (1) Chaleur de réjection utilisée pour le réchauffage de l'air et de l'eau du bassin
- (2) Chaleur de réjection utilisée pour le réchauffage de l'air, de l'eau chaude sanitaire et de l'eau du bassin
- (3) Chaleur de réjection utilisée pour le réchauffage de l'air, de l'eau chaude sanitaire et de l'eau du bassin. Bouilleur alimenté par capteurs solaires HT et réseau de chaleur.

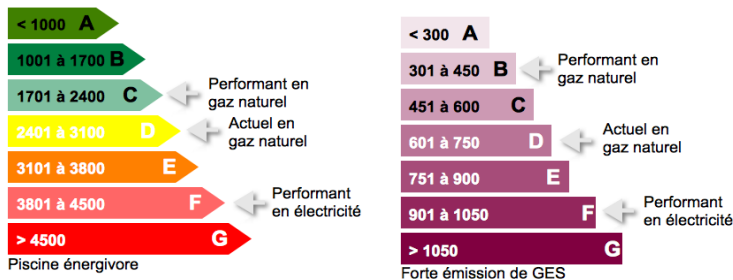
Un premier constat :

- Si l'on recourt à un **groupe d'eau glacée à compression électrique**, le gain d'énergie thermique apporté par une déshumidification mixte est de 40 à 43%.
- Si l'on recourt à une **machine à absorption à réchauffage indirect dont le bouilleur recevra sa chaleur d'une chaudière gaz à condensation** ou d'un réseau de chaleur, le gain d'énergie thermique apporté par une déshumidification mixte est de 35 à 37%.

Ce qui donne 4306 kWhEP/m² de plan d'eau quand on est en électricité et 1810 kWhEP/m² de plan d'eau quand on est en gaz naturel.

Etiquette DPE qui pourrait être proposée pour les piscines

Cette étiquette n'est qu'une proposition personnelle, puisqu'elle n'existe que pour l'habitat et que de plus elle est réglementée - Doc. A. GARNIER (2011)



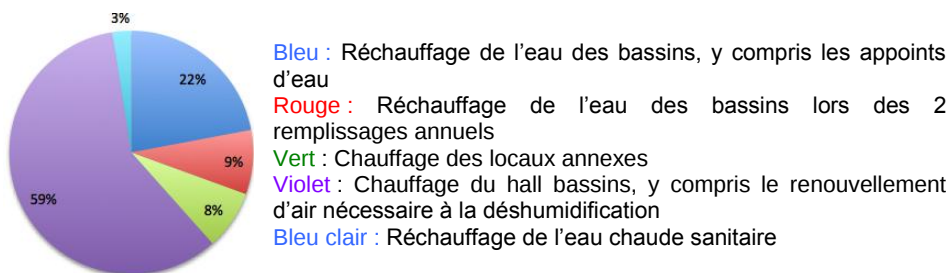
Avec cette nouvelle solution nous serions classé en « B » si on recourait au gaz naturel comme énergie.

Les consommations ci-dessus tiennent compte du chauffage et de la déshumidification de la piscine, de ses locaux annexes, de la production d'eau chaude des douches et du réchauffage des bassins. Elle ne comporte pas l'électricité (moteurs ventilateurs et pompes, éclairage) qui représente entre 1000 et 1300 kWh/m² de plan d'eau.

1.1.3 Bien connaître sa consommation d'énergie

Peu de professionnels même spécialisés en piscine connaissent la répartition des consommations par poste. Beaucoup pensent à tort que c'est le réchauffage de l'eau des bassins qui consomme le plus. C'est vrai en puissance du fait de la mise en régime mais pas en consommation d'énergie.

Répartition des besoins calorifiques d'une piscine peu performante de type sports & loisirs :



Vous aurez tout de suite remarqué que le besoin calorifique le plus important dans une piscine est la déshumidification et le chauffage du hall des bassins du fait du renouvellement d'air.

Alors surtout que l'on ne nous parle pas de pompe à chaleur air – air dont l'évaporateur sera installé sur la reprise d'air et dont la moitié du travail de déshumidification sera rejeté à

*l'extérieur au travers du caisson de répartition et de mélange air rejeté-air repris-air neuf.
Cette solution doit faire partie du bêtisier, même s'il continue de s'en vendre ...*

1.1.4 Consommation d'énergie d'aujourd'hui

Comme on vient de le voir, la consommation d'énergie calorifique de la plupart des piscines, y compris de ses locaux annexes, est aujourd'hui d'environ 2 900 kWh/m² de plan d'eau.

Déshumidification et préchauffage thermodynamique :

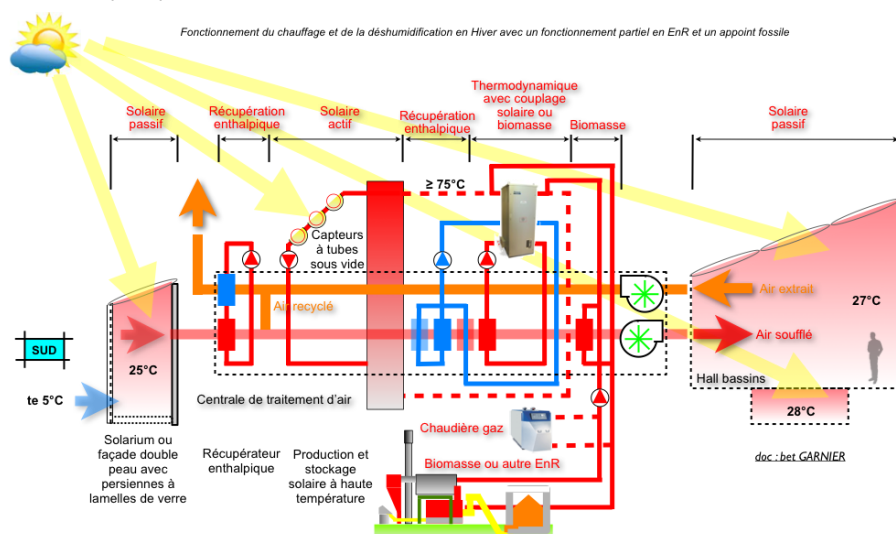
Aujourd'hui on préférera en terme de coût global, la solution « machine à absorption à réchauffage indirect » plutôt qu'un « groupe d'eau glacée à compression électrique », car elle a une meilleure durée de vie (21 à 25 ans) et offre donc un meilleur coût global.

Si le générateur thermodynamique est bien dimensionné, il devrait fonctionner entre 5 000 à 6 000 h/an. Ce qui malheureusement fragilise les compresseurs à spirale, également connu sous le nom de compresseur scroll dans la solution par groupe d'eau glacée. Compte tenu de la puissance frigorifique nécessaire on recourt à ce type de compresseur, il emploie deux spirales intercalées comme des palettes pour pomper et comprimer des fluides. Leur durée de vie est de 35 000 à 40 000 h, soit 7 ans.

Avec une machine à absorption à réchauffage indirect qui produira du froid pour déshumidifier et dont on récupérera la chaleur de réjection, on arrivera à descendre à environ 1 830 kWh/m² de plan d'eau, c'est donc un gain important de 35 à 37%.

De plus une « machine à absorption à réchauffage indirect » est une excellente solution de développement durable car elle pourra être alimentée en chaleur depuis un réseau lui même alimenté par une chaufferie collective fonctionnant en EnR (biomasse, biogaz, etc.). Si ce n'est pas le cas, la chaufferie de la piscine qui a toujours une grande puissance à cause du réchauffage de ses bassins en seulement quelques heures et à raison de deux fois par an, pourra desservir à son tour un mini-réseau de chaleur pour un Eco Quartier.

Système de déshumidification qui devrait être utilisé dans les piscines actuellement - Doc. A. GARNIER (2011)



Une autre opportunité à ne pas laisser passer s'offre également quand on a une piscine intégrée dans un Eco Quartier comportant des bâtiments de type tertiaire et ayant pour la plupart des besoins de climatisation (bureaux, ERP, centres commerciaux, patinoire, etc.).

On pourra mutualiser leurs équipements de froid, la piscine pourra ainsi jouir d'une déshumidification thermodynamique et d'un chauffage à moindre coût. Même en été, nous

aurons besoin de la chaleur de réjection de ces équipements de froid pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire et celle des bassins.

Le solaire :

On peut aussi prévoir le recours au solaire en piscine de façon à faire appel à l'EnR.

Les piscines sont à priori des bâtiments à énergie passive (BEPAS) et une bonne partie des déperditions est alors compensée par les apports calorifiques solaires.

Cette énergie peut contribuer au réchauffage de l'eau chaude sanitaire. Mais attention seulement lorsqu'il n'y a pas de système thermodynamique, car ce besoin est nécessaire à sa réjection de chaleur et de plus le gain d'énergie est plus favorable.

Le solaire serait une solution excellente pour chauffer et déshumidifier la piscine. On alimenterait le bouilleur de la machine à absorption au moyen de capteurs solaires à haute température (à tubes sous vide par exemple).

En été, lorsque les capteurs solaires à haute température ne seraient plus utilisés pour la machine à absorption, pourraient alors chauffer directement l'eau chaude sanitaire et les bassins. On éviterait leur casse et personne ne se plaindrait de la température des bassins.

On pourrait également, s'il y a des besoins en froid à proximité, continuer de faire fonctionner la machine à absorption pour la climatisation (bureaux, ERP, centres commerciaux, patinoire, etc.). On aurait ainsi réalisé un mix énergétique avec des EnR en principal et de l'énergie fossile en complément.

2 L'INNOVATION

2.1.1 Consommation d'énergie de demain (2020)

Une consommation de 1 830 kWh/m² de plan d'eau avec un gain de 35 à 37% est déjà très satisfaisante en soit, mais elle ne permet pas de satisfaire au plan d'action national en faveur des énergies renouvelables de 2020 qui demande de recourir aux EnR à raison de 23% minimum.

Quand on sait que le billet d'entrée dans une piscine est généralement vendu le ¼ du montant réel et comme l'énergie représente entre 35 à 40% des frais de fonctionnement, soit encore 20% quand on a soustrait la part d'énergie électrique, toute solution d'économie d'énergie est la bienvenue ...

Quelle serait la solution miracle qui puisse à la fois diminuer la consommation d'énergie, recourant aux EnR, qui puisse être facilement mise en œuvre dans l'existant comme dans le neuf et qui soit pérenne ?

➤ La solution sera le recours au free-chilling

Si on reste sur notre exemple d'Eco Quartier, et qu'il existe une production de froid avec des aéroréfrigérants disponibles en hiver et en demi-saison du fait d'une diminution des besoins de climatisation, on pourra s'en servir pour la déshumidification de la piscine.

C'est l'exemple même du futur centre nautique de Mont de Marsan installé dans un parc d'activités commerciales qui recourra à des aéroréfrigérants adiabatiques pour son free-chilling et sa dissipation de chaleur de réjection. Si ce n'est pas le cas, on installera un aéroréfrigérant adiabatique propre à la piscine.

2.1.2 Pourquoi un aéroréfrigérant en piscine ?

Parce qu'un aéroréfrigérant adiabatique permettra de réaliser un free-chilling, c'est-à-dire de produire de l'eau froide à une température suffisamment basse pour faire condenser la vapeur d'eau contenue dans l'air humide de la piscine.

Parce que le free-chilling est très favorable dans une application piscine :

- Les besoins de déshumidification sont élevés et continus,
- L'humidité spécifique à 15 g/kg et donc le point de rosée à 23°C sont élevés,
- On peut faire condenser (déshumidifier) l'air humide avec une température d'eau moins froide qu'habituellement,
- On a un taux de couverture en free-chilling comme nul part ailleurs,
- L'eau servant à l'aéroréfrigérant adiabatique est disponible à profusion et de façon « gratuite ». On se servira de l'eau provenant du lavage des filtres la nuit, après une décantation, une filtration, un stockage et une remise en pression au moyen d'un surpresseur d'eau.

Cet aéroréfrigérant adiabatique permettra non seulement de déshumidifier l'air de la halle des bassins mais de refroidir l'air de façon à réduire le fonctionnement du système thermodynamique qui viendra ensuite réaliser la déshumidification finale.

➤ Oui mais un aéroréfrigérant adiabatique consomme de l'eau !

- C'est faux en hiver et en début et fin de demi-saison car la température extérieure permet à elle seule de réaliser un free-chilling sec avec une puissance frigorifique suffisante pour déshumidifier à 100%. C'est du 100% EnR.
- C'est à moitié vrai en demi-saison car la température extérieure ne permet plus à elle seule de réaliser un free-chilling sec, sauf la nuit grâce à l'écart diurne. Pour avoir une puissance frigorifique suffisante et déshumidifier une majeure partie des besoins il faut alors avoir recours à un free-chilling humide, mais en piscine les rejets d'eau sont

tellement importants que cela ne pose pas de problème et que l'on n'a pas besoin de puiser de l'eau potable.

- C'est vrai sauf en été puisqu'il n'y a plus besoin de déshumidifier, on est en free-cooling naturel. Mais l'aéroréfrigérant consomme beaucoup moins qu'une tour de refroidissement ouverte, environ 15 à 20% et surtout en demi-saison alors que l'on est en tarification hiver et qu'il soulage le système thermodynamique recourant à de l'énergie fossile.

➤ **Oui mais en été, un aéroréfrigérant adiabatique ne peut plus fonctionner !**

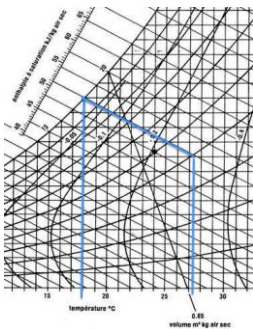
En été il n'y a plus besoin de déshumidifier car les piscines sont ouvertes pour réaliser un free-cooling naturel (rafraîchissement obtenu par une ventilation naturelle, transversale où a effet de cheminée).

En piscine il faut déshumidifier l'air chaud saturé de vapeur d'eau pour maintenir une ambiance à environ 27°C et 67% d'HR ou encore 30°C comme dans les parcs de loisirs. Un aéroréfrigérant adiabatique est tout à fait adapter car il peut produire de l'eau à $\leq 20^\circ\text{C}$, soit à partir d'air sec généralement à 15°C de température sèche, ou à 17,8°C de température humide. Dans cette dernière hypothèse l'aéroréfrigérant fonctionnera en humide, c'est-à-dire en adiabatique.

Au-delà de ces températures et jusqu'à environ 5°C de moins que la température ambiante, il sera toujours intéressant de le faire fonctionner.

➤ **Pourquoi faire fonctionner encore l'aéroréfrigérant adiabatique jusqu'à 25°C extérieur ?**

Parce qu'en été à l'extérieur on a 32°C et 40% d'humidité relative, soit un point de rosée de 21°C alors qu'à l'intérieur de la piscine il est de 23°C.



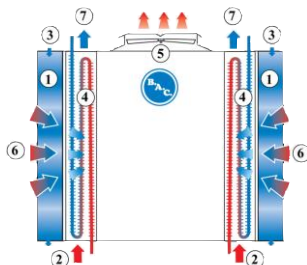
Ce Δt de 2K permet donc encore de déshumidifier et de refroidir, à condition que l'eau de refroidissement soit produite à $\leq 19^\circ\text{C}$, car il faut un Δt d'environ 2,2K en humide (adiabatique) et 5K en sec par rapport à l'extérieur.

Et même si l'on n'est plus en latent mais en sensible, tant que nous refroidirons l'air grâce au free-chilling à $\leq 27^\circ\text{C}$ c'est toujours cela de moins que devra fournir le froid thermodynamique pour permettre la déshumidification finale.

Ce travail de pré-refroidissement permettra une diminution de la consommation d'énergie notable de la part de la machine à absorption.

Aéroréfrigérant sec :

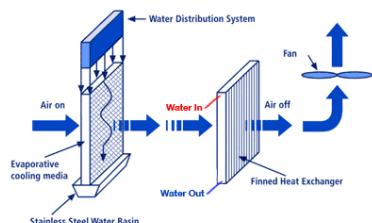
- La température de l'air extérieur permet de refroidir l'eau avec un Δt d'environ 5K avec l'eau à refroidir.



Le gain énergétique par rapport à une tour ouverte sera d'environ de 20% cette différence viendra de la température de condensation choisie en général plus basse (environ 5K) et d'une surface d'échange beaucoup plus importante.

Aéroréfrigérant adiabatique (humide) :

- La température de l'air extérieur permettra de refroidir l'eau avec un Δt d'environ 2,2K entre le "bulbe humide" de cet air et l'eau à refroidir.

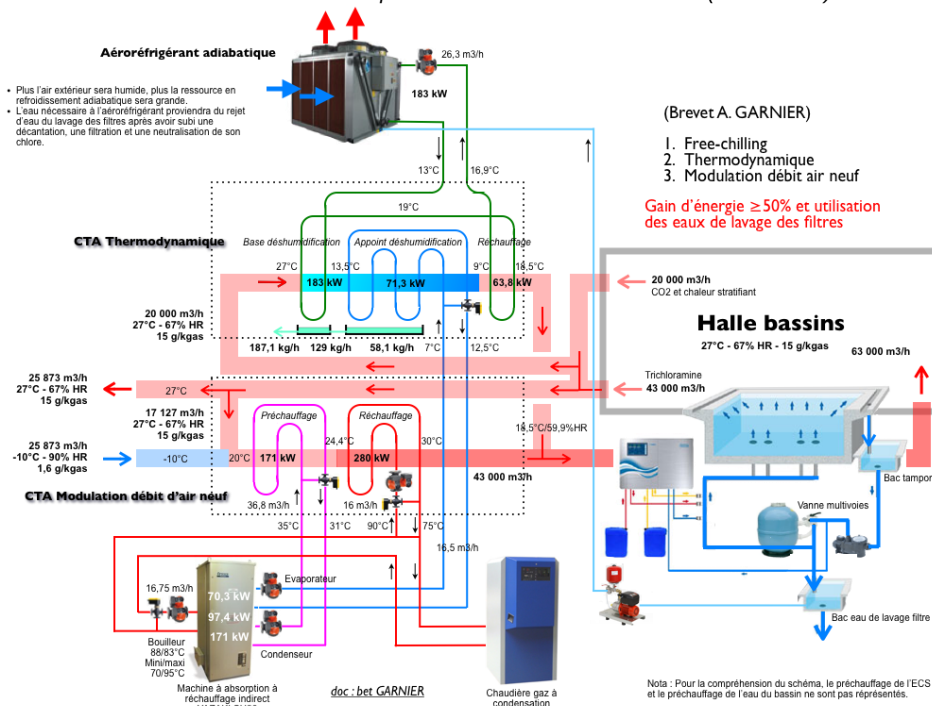


Le gain énergétique par rapport à un aéroréfrigérant sec sera donc d'environ de 7%.

Ce refroidissement supplémentaire sera obtenu grâce à l'évaporation partielle de l'eau en entrée de la batterie de l'aéroréfrigérant.

2.1.3 Le cœur du système lui même

Schéma de principe de système de déshumidification à l'eau avec appoint thermodynamique et modulation du débit d'air neuf Niveau de performance 1 - Doc. A. GARNIER (brevet 2013)



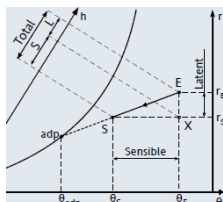
Suivant la taille de la piscine, le traitement d'air sera réalisé au moyen d'une ou de deux centrales :

- S'il y a une centrale celle-ci comportera obligatoirement un couloir de déshumidification EnR+ thermodynamique équipé d'une batterie de pré-déshumidification et de pré-refroidissement suivi d'une batterie de réchauffage.
- S'il y a deux centrales, l'une sera affectée à la déshumidification EnR+ thermodynamique et l'autre au préchauffage et réchauffage.

L'aéroréfrigérant adiabatique de 183 kWf couplé à une machine à absorption de 70 kWf, arriveront tous deux à extraire 185 kg/h d'eau de l'ambiance de la piscine.

L'explication du fonctionnement de ce système de déshumidification avec deux centrales recourant aux EnR peut commencer :

1) Centrale de traitement d'air thermodynamique fonctionnant en recyclage :



Nous réaliserons un premier étage de déshumidification au moyen d'une première batterie froide raccordée à un aéroréfrigérant adiabatique (free-chilling). Compte tenu de la température de l'eau de refroidissement, cette batterie sera capable de fonctionner en latent et en sensible (récupération de chaleur enthalpique)

Représentation graphique de la déshumidification par refroidissement

- C'est la batterie raccordée à l'aéroréfrigérant adiabatique qui sera installée en premier par rapport à l'air humide du fait la température de son eau de refroidissement (voir schéma du système de déshumidification).
Mais attention, compte-tenu que le système de déshumidification thermodynamique a une efficacité énergétique de 2,06 du fait de la récupération de sa chaleur de réjection, c'est lui qui sera mis en service en priorité.
C'est la régulation d'humidité spécifique qui mettra en service la batterie froide de déshumidification thermodynamique puis batterie froide de déshumidification free-chilling.
En plus de réaliser la déshumidification, batterie froide free-chilling pré-refroidira l'air et soulagera la déshumidification thermodynamique réalisée au moyen de la seconde batterie froide raccordée à l'évaporateur de la machine à absorption à réchauffage indirect.
- L'aéroréfrigérant travaillera en sec une bonne partie de l'hiver et sera capable d'assurer la majeure partie de la déshumidification. Il travaillera ensuite en humide dès que la température d'eau glacée dérivera au-delà de 13°C. Dès lors que la température de sortie de la batterie sera identique à celle d'entrée, on arrêtera l'aéroréfrigérant.

Nota : La déshumidification, hors de celle apportée par la modulation du débit d'air neuf, proviendra d'environ 56% par la batterie raccordée à l'aéroréfrigérant adiabatique et de 44% par la batterie froide raccordée à l'évaporateur de la machine à absorption à réchauffage indirect.

Une batterie de réchauffage enthalpique viendra ensuite remonter la température de l'air refroidie pour raison de déshumidification. Sa chaleur sensible proviendra de l'extraction de la chaleur enthalpique récupérée lors du premier étage de déshumidification par free-chilling.

2) Centrale de traitement d'air fonctionnant en modulation du débit d'air neuf :

- Nous avons besoin d'air neuf à raison de 30 m³/h par baigneur du fait de la réglementation et sans discernement du système de désinfection de l'eau. Quand on est en désinfection chlore où il y a des risques avec la trichloramine, nous préférons aller au-delà de la réglementation et augmenter ce renouvellement à 100 m³/h par baigneur.
Les registres air rejeté, recyclé et neuf de la centrale seront commandés par deux servomoteurs gérés par la GTC via une sonde d'humidité spécifique et une autre de CO2 (limite basse).
L'air neuf sera prélevé dans une façade rideau, un solarium ou une véranda de façon à avoir subi un premier préchauffage gratuit. S'il le faut pour des raisons de déshumidification complémentaire, le renouvellement d'air (air neuf et air rejeté) sera augmenté, mais on vérifiera toutefois que l'humidité spécifique de l'air neuf introduit ne soit pas supérieure à celui de l'intérieur du hall des bassins ce qui se passe souvent dans les anciennes piscines et qui contribue à la plupart des dégradations du bâtiment.
- Nous réaliserons un premier étage de chauffage au moyen d'une première batterie chaude alimentée par la chaleur de réjection provenant du condenseur de la machine à absorption.

- Parfois on pourra avoir une seconde batterie de préchauffage qui, alimentée par un stockage solaire, viendra remonter à nouveau la température de l'air suivant les besoins.
- Une batterie de réchauffage finale viendra finalement remonter la température de l'air suivant les besoins. C'est un réseau de chaleur ou une chaufferie propre à la piscine qui alimentera cette batterie.

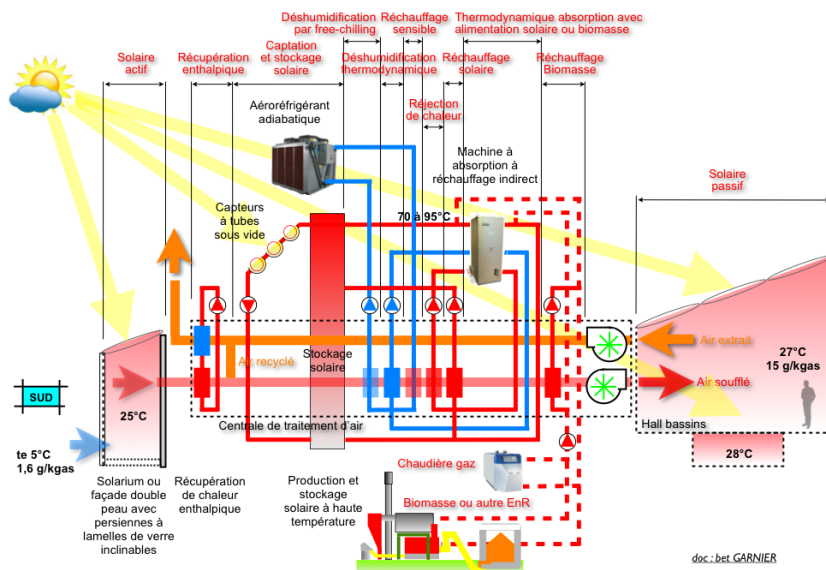
2.1.4 Consommation d'énergie à partir de 2020

Comme on le voit de nouvelles perspectives s'offrent avec cette nouveauté technique et pas seulement en piscine mais partout où il est essentiel de déshumidifier (data center, laboratoire, salles blanches, bibliothèques, musées, etc.).

La piscine est un secteur favorable au free-chilling, car :

- L'humidité de la halle des bassins est très élevée : nous avons à maintenir entre 14 g/kg.as en hiver et 16 g/kg.as en été.
- Nous avons un besoin continu de déshumidification jour et nuit.
- Nous avons un écart diurne très favorable au free-chilling ce qui la plupart du temps lui permettra de couvrir à lui seul la totalité des besoins de nuit (plan d'eau calme) sans avoir besoin du système thermodynamique.
- Les saisons où nous avons le plus à déshumidifier sont les intersaisons (solstice d'été et d'hiver : mars et septembre). Or la température et l'humidité extérieure sont propices au free-chilling humide, l'air en général ne dépasse pas encore 10°C de température humide et on pourra refroidir l'eau à 13°C.
- Il faudra de l'eau pour faire fonctionner l'aéroréfrigérant en humide, mais dans une piscine ce n'est pas ce qui manque.
- En hiver, du fait de la température extérieure, le free-chilling fonctionnera en sec en duo avec le système thermodynamique mais sans appoint par modulation d'air neuf.
- En été, nous n'aurons plus besoin free-chilling ni du système thermodynamique, nous serons plutôt en free-cooling naturel ou mécanique.

Système de déshumidification qui pourrait être utilisé au-delà de 2020 - Doc. A. GARNIER (2013)



En recourant au free-chilling, le temps de fonctionnement du système complémentaire de modulation du débit d'air neuf pour déshumidifier la piscine diminuera de façon importante. Et c'est tant mieux, car ce système est très énergivore en période froide et/ou humide. De plus ce système qui est supposé diminuer l'humidité relative s'avère en être un très mauvais quand l'air extérieur est saturé d'humidité (pluie, brouillard). Il n'est pas rare de voir le bâtiment condenser durant plusieurs jours quand il pleut et dans ses conditions le confort n'est plus non seulement assuré mais les matériaux et revêtements se dégradent...

2.1.5 Analyse fonctionnelle de la production de froid pour la déshumidification

Les mises en service et arrêts des différents générateurs de froid (aéroréfrigérant adiabatique et machine à absorption) devront être faits en fonction de la charge en froid par rapport à leur puissance, de la température extérieure (sèche et humide) du coût du kWf utile. Dans bien des cas ce sera un mix de plusieurs types de générateur qui sera mis en service avec en priorité aux EnR.

Analyse fonctionnelle de la production de froid et de chaleur pour la déshumidification et le chauffage de la halle des bassins, de l'ECS et des bassins.

Conditions de fonctionnement	-1- Ts ≤ 15°C	-2- Th ≤ 17°C	-3- Ts >22°C avec besoin de 50% en froid	-4- Ts >25°C avec besoin de 100% en froid
Free-chilling	Free-chilling sec avec aéroréfrigérant pour pré-refroidissement sensible et latent	Free-chilling humide avec aéroréfrigérant pour pré-refroidissement sensible et latent	Free-chilling humide avec aéroréfrigérant pour pré-refroidissement sensible	A l'arrêt, la température extérieure ne permet plus le refroidissement de l'eau
Froid thermodynamique	Thermodynamique avec machine à absorption dont le bouilleur sera alimenté par une source chaude	Thermodynamique avec machine à absorption dont le bouilleur sera alimenté par une source chaude	A l'arrêt, la charge en froid est trop petite	A l'arrêt, la charge en froid est trop petite
Déshumidification et chauffage	Batterie de déshumidification et batterie de réchauffage enthalpique raccordées sur aéroréfrigérant + Modulation du débit d'air neuf pour la déshumidification complémentaire + Batterie de déshumidification raccordée sur l'évaporateur de la machine + Batterie de chauffage raccordée sur source chaude	Batterie de déshumidification et batterie de réchauffage enthalpique raccordées sur aéroréfrigérant + Modulation du débit d'air neuf pour la déshumidification complémentaire + Batterie de déshumidification raccordée sur l'évaporateur de la machine + Batterie de chauffage raccordée sur source chaude	Batterie de pré-refroidissement et batterie de réchauffage enthalpique raccordées sur aéroréfrigérant + Modulation du débit d'air neuf pour la déshumidification <i>De jour, le chauffage passif devrait suffire</i>	Modulation du débit d'air neuf pour la déshumidification complémentaire <i>De jour, le chauffage passif devrait suffire</i>
Chauffage de la halle, de l'ECS et des bassins	Batterie de réchauffage enthalpique raccordée sur aéroréfrigérant + Batterie de préchauffage raccordée sur chaleur de réjection + Chaudière gaz à condensation ou réseau de chaleur alimentant la batterie et les échangeurs finaux d'ECS et des bassins	Batterie de réchauffage enthalpique raccordée sur aéroréfrigérant + Batterie de préchauffage raccordée sur chaleur de réjection + Chaudière gaz à condensation ou réseau de chaleur alimentant la batterie et les échangeurs finaux d'ECS et des bassins	Chaudière gaz à condensation ou réseau de chaleur alimentant les échangeurs finaux d'ECS et des bassins	Chaudière gaz à condensation ou réseau de chaleur alimentant les échangeurs finaux d'ECS et des bassins

Nota :

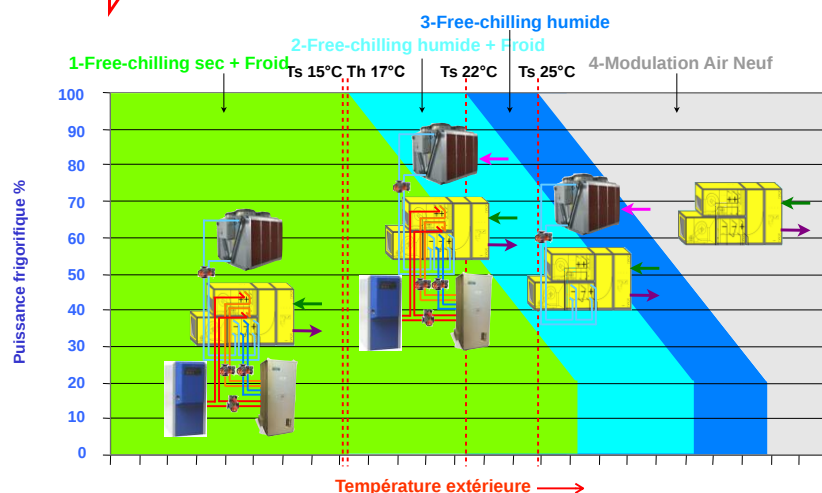
- En période d'été ($T_s > 22^\circ\text{C}$) de jour, le chauffage passif devrait suffire.
- En période d'été ($T_s > 25^\circ\text{C}$), lorsque l'aéroréfrigérant ne pourra plus fonctionner et que la machine à absorption sera mise à l'arrêt, pour des faibles charges en déshumidification c'est la modulation du débit d'air neuf qui sera mise à contribution.

— La nuit du fait d'un écart diurne pouvant aller jusqu'à 10°C , le fonctionnement du free-chilling sera utilisé majoritairement.

-
- Dans ce tableau, on a considéré que grâce au free-chilling on pouvait produire de l'eau glacée à 18°C avec de l'air sec à 13°C (aéroréfrigérant travaillant en sec) ou de l'air humide à 15°C (aéroréfrigérant travaillant en humide : adiabatique).

Scénario de fonctionnement de la production de froid et de chaleur pour la déshumidification et le chauffage de la halle des bassins, de l'ECS et de l'eau des bassins - Doc. A. GARNIER (dépôt de brevet 2013)

18/13°C Reims



Il est à remarquer que le système de déshumidification par modulation du débit d'air neuf ne fonctionnera qu'en dernier recours dans la saison de façon à ne pas coûter plus cher que la consommation d'énergie du système précédent.

Mis en forme : TM 8, Justifié,
Retrait : Gauche : 0 cm, Suspendu :
0,5 cm, Espace Après : 6 pt, Ne pas
ajouter d'espace entre les paragraphes
du même style, Avec puces + Niveau :
1 + Alignement : 0 cm + Retrait :
0,63 cm

3 AVANT DE METTRE EN ŒUVRE CETTE NOUVELLE SOLUTION

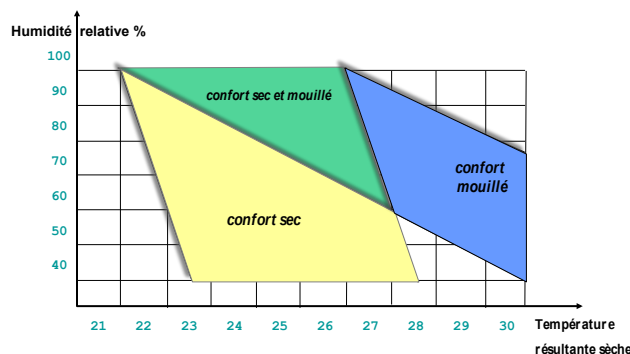
Nous ne reviendrons pas sur l'architecture passive, source d'apports calorifiques importants que doit avoir la piscine.

Avant de mettre en œuvre cette nouvelle solution de déshumidification EnR, il faudra comme dans toute piscine respecter certains fondamentaux afin d'optimiser le free-chilling et obtenir les indicateurs de performance que l'on s'est fixé :

3.1 LES FONDAMENTAUX A RESPECTER

3.1.1 Le 1^{er} : Hygrométrie et confort

- Il sera préférable d'avoir une piscine à énergie passive laquelle comportera de larges baies vitrées situées à l'Est et à l'Ouest de façon à laisser pénétrer amplement le soleil levant et couchant.
Ce rayonnement solaire contribuera en hiver au chauffage et à la lumière naturelle. Les baies vitrées situées au Sud laisseront pénétrer le soleil en hiver et s'en protégeront en été. On recourra à un éclairage zénithal du genre shed pour obtenir une bonne répartition de la lumière et éclairer les locaux aveugles.
- Les conditions idéales à l'intérieur de la halle des bassins ne seront pas inférieures à 27°C avec une humidité spécifique de 15 g/kg.as afin d'assurer le confort des baigneurs et ralentir le vieillissement de la piscine.



Zone de confort en piscine

Il vaudra mieux que l'air ambiant soit à 1°C de plus que l'eau comme il est pratiqué dans la plupart des autres pays (et non en France où c'est l'inverse). De cette façon on réduira l'évaporation du bassin qui est le poste qui demande le plus d'énergie et on augmentera le confort.

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).

- Il faudra absolument interdire tous les matériaux d'isolation thermique non hygroscopiques, leur résistivité thermique devra permettre d'être inférieure au point de rosée (environ 23°C) et de corriger tous les ponts thermiques ; l'idéal serait d'avoir une isolation extérieure.
- Plus il fera humide à l'extérieur et plus le taux d'humidité spécifique risque de monter à l'intérieur de la halle des bassins (infiltration et introduction d'air neuf).
Plus l'humidité extérieure montera et plus le free-chilling permettant la déshumidification et le pré-refroidissement pour la déshumidification finale au moyen du système thermodynamique sera efficace.
- Ce système de déshumidification travaillant sur de l'air recyclé sera indépendant de la météo contrairement à un système exclusivement par modulation du débit d'air neuf qui introduit de la vapeur d'eau et augmente l'humidité lorsque le temps est humide.

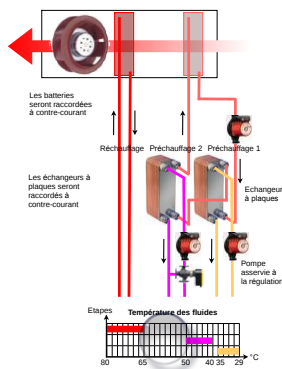
- Il faudra que la piscine soit absolument étanche à l'air car il ne servirait à rien d'essayer de déshumidifier une halle de bassins avec des infiltrations qui introduiraient de l'air humide ou laisserait s'échapper de l'air que l'on viendrait de déshumidifier.

3.1.2 Le 2^{ème} : Le traitement d'air pour la déshumidification

Il faudra bien dimensionner les équipements et surtout ne pas surdimensionner les machines thermodynamiques car on risquerait alors d'avoir à dissiper de la chaleur de réjection à l'extérieur.

Malgré un traitement d'air qui pourra nous permettre de réaliser un free-cooling en été, il sera préférable de recourir à une ventilation naturelle et transversale de façon à ne pas consommer d'électricité.

Le système aura besoin d'eau mais comme nous sommes en piscine ce n'est pas un problème, l'eau rejetée provenant du lavage des filtres sera récupérée après décantation, neutralisation du chlore et filtration.



Système 1 batterie et 2 échangeurs à 4 tubes. A. GARNIER

Le traitement d'air avec une déshumidification à base d'EnR sera réalisé tel qu'il l'a été expliqué précédemment.

Plutôt que de mettre en série toutes ces batteries sur l'air, ce qui conduirait à avoir un ventilateur MP bruyant et gourmand en énergie électrique, il sera plus judicieux d'en réduire le nombre et de les raccorder en série sur différents échangeurs à plaques. Il est vrai que l'on ajoutera des pompes, mais celles-ci malgré tout auront une consommation électrique moins importante que la surconsommation du ventilateur. Et si les températures au primaire sont trop éloignées, il faudra se résigner à ajouter une batterie.

Nous aurons besoin d'air neuf pour réaliser la déshumidification complémentaire et pour renouveler l'air de façon réglementaire (30 m³/h.baigneur que l'on arrondira réciproquement à 66 ou 100 m³/h.baigneur dans le cas d'une désinfection ozone + 50% de chlore ou à 100% de chlore). Les registres air rejeté, recyclé et neuf de la centrale seront commandés par deux servomoteurs gérés par la GTC via une sonde d'humidité spécifique et une autre de CO₂ (limite basse). Cet air neuf sera prélevé si possible dans une façade double peau (FDP), un solarium ou une véranda de façon à avoir subi un premier préchauffage gratuit (solaire dynamique).

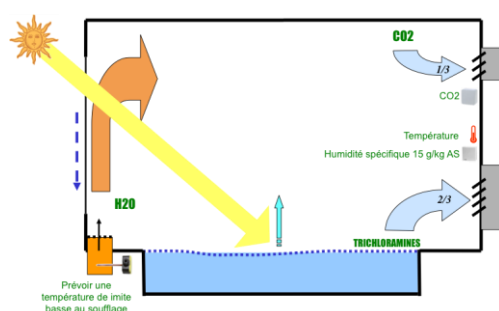
Le système thermodynamique alimentera le préchauffage de la halle des bassins, le préchauffage des douches, le préchauffage de l'eau des bassins avec son eau d'appoint arrivant dans les bacs tampons et le chauffage des plages.

3.1.3 Le 3^{ème} : La distribution d'air

C'est un point souvent négligé : le soufflage de l'air sera réalisé sur trois côtés devant les parois froides.

L'extraction de l'air sera réalisée sur le quatrième opaque de façon à obtenir un déplacement de l'air et à extraire plus efficacement la trichloramine et le CO₂.

Diffusion et extraction d'air en piscine « Concevoir et construire des Piscines Publiques Basse consommation d'énergie et d'eau » A. GARNIER



La trichloramine qui est un gaz lourd sera extraite au niveau des plages et le CO₂ qui est un gaz léger sera extrait au niveau des points les plus hauts en même temps que les apports thermiques.

Si la toiture comporte des risques de surchauffe ou de condensation importants, on prévoira un complément

de diffusion d'air juste en dessous, ce qui facilitera la récupération des apports thermiques stratifiant à cet endroit (chauffage solaire passif).

3.2 QUELQUES CONSEILS PORTANT SUR LE DIMENSIONNEMENT

Il ne faudra surtout pas sur-dimensionner les équipements chargés de la déshumidification, en particulier la machine à absorption, car on risquerait alors d'avoir à dissiper à l'extérieur le surcroît de chaleur de réjection. La machine sera donc calculée sur sa puissance de puissance de réjection compte tenu des besoins et des apports calorifiques. Toute la chaleur de réjection sera valorisée de façon à obtenir la meilleure efficacité énergétique possible.

Le dimensionnement du débit d'air et des batteries du traitement d'air, de l'aéroréfrigérant adiabatique et de la machine à absorption sera réalisé avec l'aide d'une simulation thermo dynamique (STD). Une première approche nous amènera à bien connaître l'évaporation exacte des bassins, les apports par ensoleillement, le débit et la répartition de l'air, les risques de condensations des parois, les risques sanitaires (répartition de la trichloramine), les apports calorifiques et les risques de surchauffe d'été.

3.3 PERSPECTIVES D'AVENIR DE CE SYSTEME

Ce système combiné pourrait se développer rapidement car la déshumidification des piscines représente l'un des postes les plus importants en consommation d'énergie et contribue donc à un coût d'exploitation élevé et difficilement soutenable pour les collectivités territoriales.

En France particulièrement, le nombre de projets aquatiques est en pleine expansion, cela tient au fait qu'il y a maintenant l'obligation de savoir nager.

Enseignement de la natation dans les établissements scolaires du premier et du second degré - CIRCULAIRE N°2004-139 DU 13-7-2004



Les activités aquatiques et la natation font partie intégrante de l'enseignement de l'éducation physique et sportive à l'école, au collège et au lycée.

Et puis il y a aussi le remplacement des vieilles piscines et dans certaines zones un manque d'établissements d'activités aquatiques permettant de recevoir les nageurs.

4 CONSOMMATION ET GAIN D'ENERGIE

4.1 DIFFICULTE DE MESURER LE GAIN D'ENERGIE

Comme l'humidité de la halle des bassins est haute et constante, on peut être certain que ce système de « déshumidification à l'eau » est très favorable pour les piscines car c'est tout simplement de la thermique appliquée. De plus, la technique à mettre en œuvre est simple.

Comme la seule consommation est de l'eau et qu'on rejette toutes les nuits de l'eau ayant servi au nettoyage des filtres, on recourra à celle-ci après seulement une décantation et stockage suivi d'une filtration, c'est donc une solution EnR.

Par contre, il n'existe pas encore de système similaire mis en place qui nous permettrait de mesurer le gain d'énergie.

Il en est de même avec les apports solaires dans les piscines passives où le débit d'air du aux infiltrations, qu'on ne peut quantifier.

4.1.1 Gain propre à la déshumidification thermodynamique

Sur les piscines, même les plus récentes, il n'existe que très rarement des compteurs de chaleur ou de froid, juste des compteurs d'eau, d'électricité générale et de gaz naturel général. Il est donc difficile d'estimer la consommation d'énergie avant et après travaux ainsi que le gain en Euros.

Heureusement sur quelques sites existants et neufs, on a pu mesurer le gain d'énergie propre à la déshumidification thermodynamique. De là, on a pu trouver les rendements suffisamment précis pour mettre en équation les mesures faites et qui nous permettent maintenant d'estimer les gains au stade du projet.

4.1.2 Gain latent et sensible propre à la déshumidification sèche et humide

Il n'existe pas encore de système similaire mis en place qui serait instrumenté et qui nous permettrait de mesurer ce gain. Le plus simple et le plus juste serait de compter le volume de condensat récupéré et évacué car estimer les gains au stade du projet est pour l'instant une tâche ardue même avec une STD.

4.1.3 Gain propre au refroidissement adiabatique et au réchauffage enthalpique

Comme les débits d'air sont continus toute l'année, le plus simple serait de mesurer le Δt de la batterie de pré-refroidissement et de réchauffage enthalpique raccordé à l'aéroréfrigérant adiabatique.

4.2 GAIN SUR LE FROID POUR LA DESHUMIDIFICATION

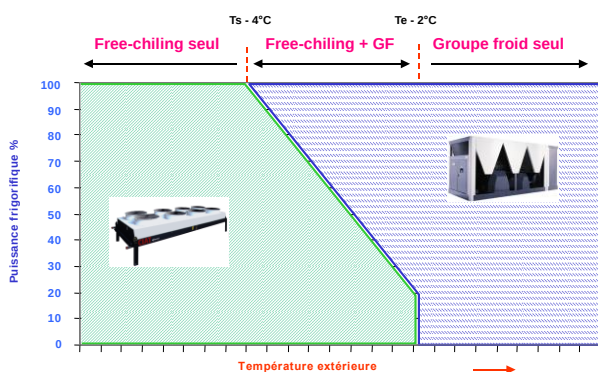
4.2.1 Le gain de consommation d'énergie est de 3 ordres

- Un gain grâce à la déshumidification par refroidissement adiabatique
- Un gain grâce au pré-refroidissement par refroidissement adiabatique permettant ensuite de déshumidifier en froid thermodynamique avec moins de consommation énergétique
- Un gain grâce au réchauffage enthalpique permettant ensuite de réchauffer avec moins de consommation énergétique

La rentabilité du free-chilling sera d'autant plus élevée que les besoins de déshumidification seront importants en hiver et en demi-saison et que la surface des aéroréfrigérants, de la batterie assurant la base de la déshumidification et de la batterie de réchauffage enthalpique s'y prêteront.

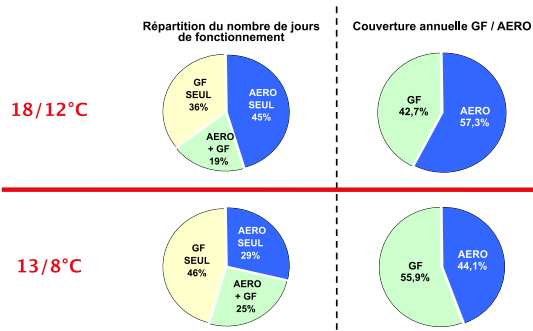
A Reims, avec un free-chilling sec produisant de l'eau froide à 12/18°C, on gagnerait environ 45% d'énergie électrique destinée au froid pour la déshumidification.

Il ne faut pas comparer ce gain de 45% à celui de 35 à 37% de la déshumidification thermodynamique qui, lui, est donné pour l'ensemble des consommations d'énergie de la piscine et tient compte de la récupération de la chaleur de réjection.



Ce n'est pas le choix qui a été retenu car avec des aéroréfrigérants secs et un fonctionnement alternatif l'efficacité énergétique peut encore être améliorée (voir la suite)...

Potentiel de gain apporté par un free-chilling sec



Taux de couverture annoncé par un constructeur avec une installation en free-chilling sec suivant différentes températures d'eau glacée.

Les constructeurs annoncent au travers de leur bilan thermique un gain pouvant aller parfois jusqu'à 57,3%. Il s'agit en fait d'un « potentiel de froid pour la déshumidification » et non d'un gain sur la consommation que l'on obtient à tous les coups. Ils oublient le rendement de distribution et d'échange final.

Notre solution est de recourir à des aéroréfrigérants adiabatiques pour réaliser la majeure partie de la déshumidification et du froid et de les faire fonctionner au maximum du potentiel d'économie d'énergie offert par le free-chilling.

4.2.2 Calcul approché du gain

La régulation propre à l'aéroréfrigérant adiabatique sera réglée à 13  C de façon à avoir un rôle déterminant dans la déshumidification avec une batterie froide à 8 rangs fonctionnant en sensible et en latent.

Bien entendu la température extérieure croîtra en été et la température d'eau de refroidissement dérivera au-delà de 13  C. La batterie froide verra alors sa chaleur latente diminuer plus rapidement que sa chaleur sensible. Jusqu'à 22  C le free-chilling permettra néanmoins un pré-refroidissement appréciable avant la déshumidification thermodynamique.

Sans tenir compte des gains dus à la récupération de chaleur de la batterie de réchauffage enthalpique installée à la suite des deux batteries de déshumidification, le gain d'énergie obtenu grâce au free-chilling en hiver et demi-saison, sera d'environ 46%.

Lorsque l'on fonctionnera en déshumidification par modulation du débit d'air neuf, on ne gagnera rien puisqu'il s'agit de la solution de référence.

Quatre cas de figure se présentent suivant la variation de la température extérieure :

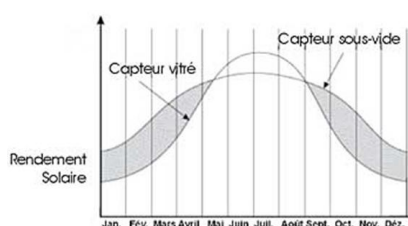
- Free-chilling sec + déshumidification thermodynamique Ts.Ext 15  C
- Free-chilling humide + déshumidification thermodynamique Th.Ext 17  C
- Free-chilling humide Ts.Ext 22  C
- Déshumidification par modulation du débit d'air neuf Ts.Ext 25  C

En considérant une ouverture de la piscine 8400 h/an, **le gain d'énergie global sera d'environ 53% sur l'année**, dont 37% rien que par la déshumidification thermodynamique. Ce qui amènera la consommation d'énergie thermique de la piscine à 1400 kWh/m² au lieu des 2900 kWh/m² de plan d'eau que l'on aurait eu avec la solution de référence (simple modulation du débit d'air neuf). Le facteur 2 est enfin dépassé...

4.2.3 Si on voulait aller encore plus loin en matière d'économie d'énergie

Solaire :

On l'a déjà dit, il y a le solaire qui est une solution excellente pour chauffer et déshumidifier la piscine. Certains diront que le solaire ne se prête pas à la région mais comme on doit alimenter le bouilleur de la machine à absorption à 75  C minimum et à 105  C maximum, il s'agira de capteurs solaires à tubes sous vide et non de capteurs plans vitrés.



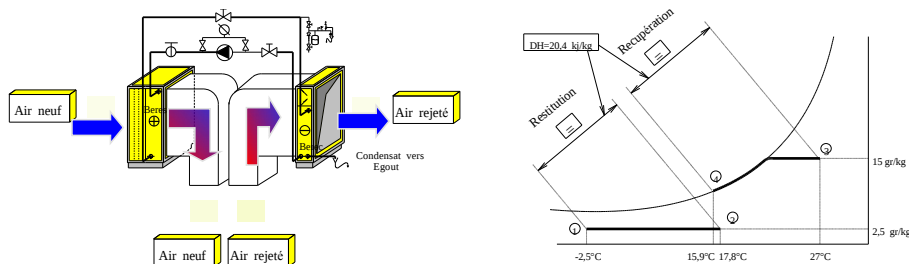
La performance des capteurs à tubes sous vide n'est pas influencée par le vent ni de la température extérieure.

Ils montent en température très rapidement et par conséquent, même avec quelques heures de soleil, il sera en mesure de chauffer l'eau alors que le capteur plan standard n'aura quasiment rien capté.

Ceux-ci apportent un tout petit plus de gain d'énergie mais surtout présentent un rendement supérieur aux capteurs plans vitrés lors de journées couvertes (nébulosité supérieure à 4/8 octas) car les capteurs à tubes sous vide vont mieux capter la luminosité et donc chauffer beaucoup plus.

Récupération enthalpique équilibrée :

Avant cela, on pourra encore améliorer notre solution de déshumidification à l'eau en ajoutant une récupération enthalpique équilibrée sur l'air rejeté préchauffant l'air neuf.

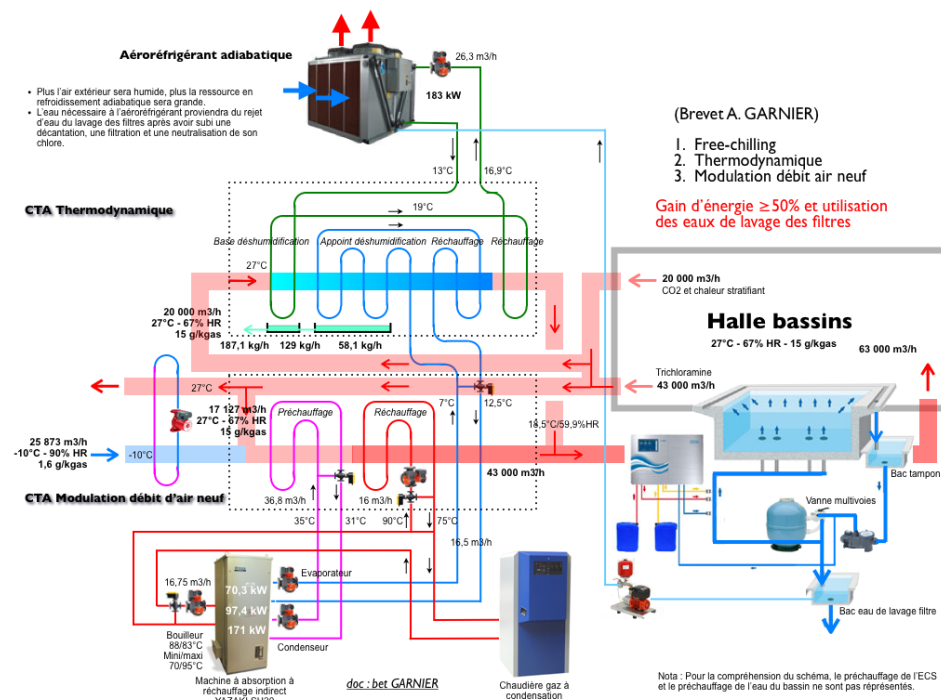


Doc. Eco Energie

Batterie de réchauffage enthalpique à partir de la déshumidification thermodynamique :

On pourra également installer une batterie de réchauffage enthalpique qui viendra remonter la température de l'air refroidi pour raison de déshumidification. Sa chaleur sensible proviendra de l'extraction de la chaleur enthalpique récupérée par le premier étage de déshumidification thermodynamique (voir schéma ci-dessous).

Schéma de principe de système de déshumidification à l'eau avec appoint thermodynamique et modulation du débit d'air neuf Niveau de performance 2 - Doc. A. GARNIER (brevet 2013)



5 DOCUMENTS ANNEXES

5.1 QU'EST-CE QUE LE FREE-CHILLING ?

5.1.1 Définition du free chilling

Il n'est pas inutile de rappeler en quoi cela consiste, car beaucoup confondent encore le free-chilling (chiller : refroidisseur en anglais) et le free-cooling (cooling : rafraichissant en anglais).

- Le free-chilling est obtenu par un aéroréfrigérant ou une tour de refroidissement qui refroidira l'eau à la place du groupe de production d'eau glacée dans les périodes où l'air sec (et humide dans le cas de la tour ou d'un aéroréfrigérant adiabatique) sera suffisamment froid.
- Le free-cooling est obtenu au moyen d'air frais introduit dans le local de façon naturelle ou mécanique qui viendra compenser l'air chaud que l'on évacuera à l'extérieur.

Lorsque l'on a besoin de froid à des températures extérieures particulièrement froides, plutôt que de mettre en service un groupe à compression ou une machine à absorption de production d'eau glacée, on se servira d'un aéroréfrigérant placé à l'extérieur qui dissipera la chaleur récupérée par les émetteurs. Plus le Δt entre la température extérieure et intérieure sera élevé, plus on produira ainsi de froid en EnR.

Les installations de rafraichissement ou de climatisation qui recourent habituellement à de l'eau glacée en hiver pour se climatiser, permettront de bien utiliser le potentiel offert par le free-chilling.

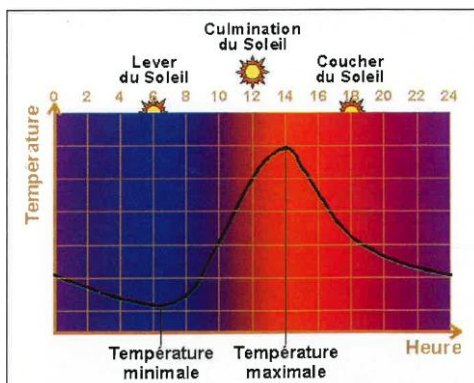
Les installations de climatisation avec des échangeurs ou émetteurs à grande surface d'échange se prêtent bien au free-chilling. Dans l'existant, il faudra étudier la possibilité d'adapter les installations (émetteurs, débit d'air et débit d'eau de circuits).

Un échangeur qui reçoit une eau à 10/15°C au lieu de 13/18°C perd environ 36% de sa puissance totale frigorifique (sensible et latente). D'où l'intérêt de surdimensionner les échangeurs thermiques (aéroréfrigérants comme échangeurs à plaques ou encore batteries à air). On pourra aussi augmenter le débit d'air (ventilateur à débit variable sur les aéroréfrigérants) pour augmenter la puissance frigorifique ou encore déclasser l'appareil (aéroréfrigérant).

5.1.2 Jouer avec la météorologie

La température de l'air varie avec l'alternance du jour et de la nuit mais aussi, dans la journée, avec l'ensoleillement. Les bulletins météorologiques indiquent ainsi la température maximale et la température minimale du jour.

Effet des radiations solaires sur la température de l'air



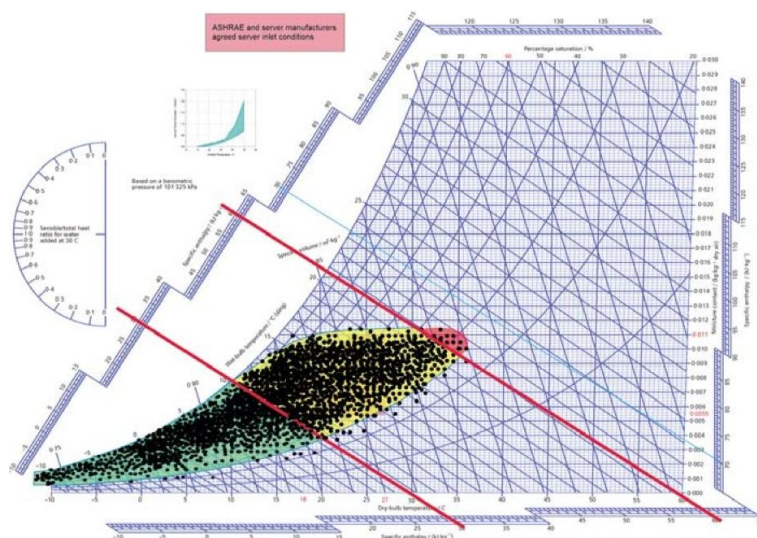
La température est **minimale environ 1/2 h après le lever du soleil**. Ce décalage est dû au bilan thermique de la terre. La nuit, la terre émet un rayonnement et se refroidit. Lorsque le soleil se lève, la terre reçoit le rayonnement solaire, mais continue à émettre. Ce n'est que 1/2 h après le lever du soleil que le bilan est positif et que la terre commence à se réchauffer.

La température est **maximale environ 2 h après la culmination du soleil** (moment où le soleil est le plus haut dans le ciel), qui correspond au passage du soleil dans le plan méridien local.

La température extérieure est plus basse la

nuit, cette période est propice au free-chilling à cause de l'amplitude diurne et c'est justement dans cette période nocturne que des locaux à l'aide d'émetteurs à basse température permettront d'extraire la chaleur stockée dans la structure du bâtiment de façon à préparer les bâtiments pour le lendemain. Bien souvent, dans cette période nocturne, les aéroréfrigérants n'auront même pas besoin de fonctionner en adiabatique mais seulement en sec.

Le free-chilling qu'il soit réalisé par des aéroréfrigérants fonctionnant à sec ou en adiabatique (humide), produira une bonne partie de l'année le froid nécessaire au rafraîchissement et à la climatisation, tout dépendra de la température extérieure.

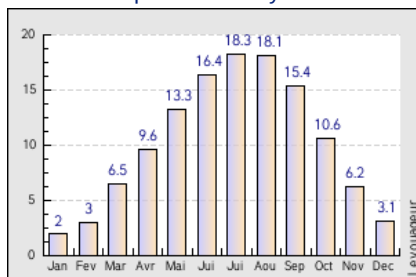


- Free-chilling sec ou free-cooling
- Free-chilling humide
- Froid thermodynamique

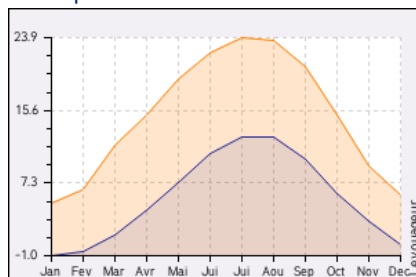
Comme on le voit sur le diagramme psychométrique ci-dessus, on recourra au free-chilling une bonne partie de l'année grâce en partie à la situation de Reims (latitude 49°15'N) qui offre un climat avec un potentiel plus important que des villes dont la latitude seraient plus basse.

REIMS : Climat, températures, précipitations, ensoleillement

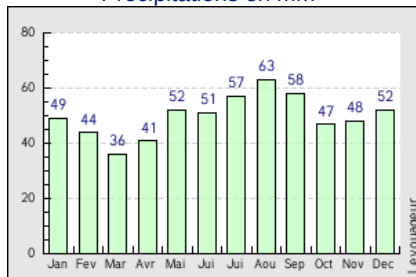
Températures moyennes



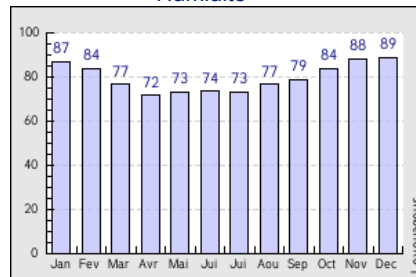
Températures minimum et maximum



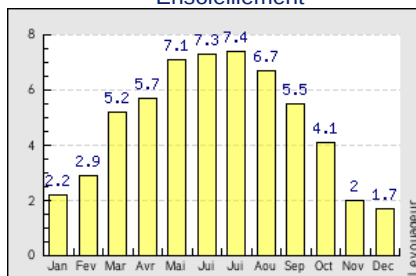
Précipitations en mm



Humidité



Ensoleillement



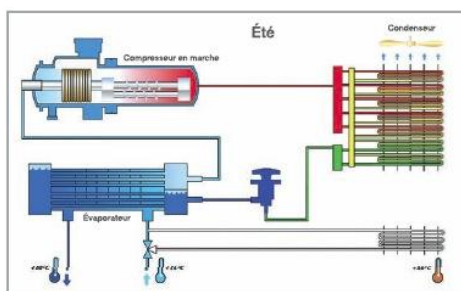
Pour faire de l'eau de refroidissement à 13°C (free-chilling), il faut à l'extérieur une température sèche de 8°C ou une température humide de 10°C.

Lorsque l'on regarde la température extérieure et l'humidité en cours d'année, l'économie d'énergie apportée par le free-chilling est évidente !

5.1.3 Les différents types de free-chilling

Le free-chilling « sec »

Dans cette solution on fera appel à un groupe de production d'eau glacée à condensation par air avec une batterie de free-chilling incorporée.



Groupe de production d'eau glacée de toiture à condensation par air avec free-chilling sec incorporé Doc CLIMAVENETA

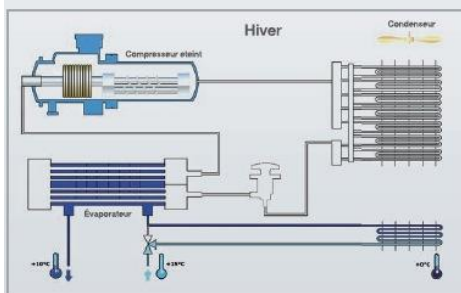
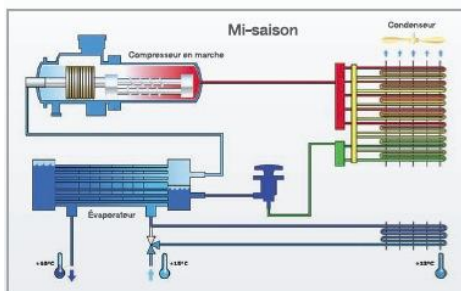


Un aéroréfrigérant sera raccordé sur le circuit d'eau glacée en injection avec l'évaporateur (la température finale sera régulée par le groupe qui ne se mettra en fonctionnement que si la température souhaitée n'est pas atteinte).

Lorsque l'installation travaillera à charge partielle, il sera préférable que la température de l'eau "glacée" soit la plus haute possible de façon à optimiser l'échange de l'aéroréfrigérant avec l'air extérieur.

On recourra à un aéroréfrigérant à débit variable pour augmenter l'écart de température entre départ et retour.

Le free-chilling couvrira la plus grande partie de la saison de rafraîchissement. Celui-ci devra se faire à l'aide d'émetteurs à grande surface d'échange acceptant une température d'eau froide inférieure seulement de quelques degrés de celle de l'ambiance.



Le free-chilling « humide »

Principe de fonctionnement :

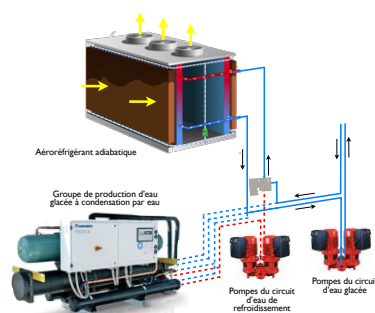
On pourra produire de l'eau froide à une température inférieure de quelques degrés de moins que celle de l'air l'extérieur ou plus exactement celle de sa température humide. L'eau est refroidie à l'intérieur de l'aéroréfrigérant par l'air extérieur et la machine frigorifique n'a pas besoin d'être mise en service.

La température extérieure est plus basse la nuit (écart diurne), cette période est propice au free-chilling à cause de l'écart diurne et c'est justement dans cette période nocturne que des locaux à l'aide d'émetteurs à basse température permettront d'extraire la chaleur stockée

dans la structure du bâtiment de façon à préparer les bâtiments pour le lendemain. Bien souvent, dans cette période nocturne, les aéroréfrigérants n'auront même pas besoin de fonctionner en adiabatique mais seulement en sec.

Le free-chilling qu'il soit réalisé par des aéroréfrigérants fonctionnant à sec ou en adiabatique (humide), produira une bonne partie de l'année le froid nécessaire au rafraîchissement et à la climatisation, tout dépendra de la température extérieure.

L'économie d'énergie est importante et la rentabilité du projet est d'autant plus élevée que les besoins de refroidissement sont importants et que l'installation s'y prête.



La température extérieure étant plus basse la nuit (écart diurne), on pourra d'autant plus recourir au refroidissement nocturne des locaux grâce au free-chilling et aux émetteurs à basse température qui extrairont la chaleur stockée dans la structure du bâtiment. Bien souvent, dans cette période, les aéroréfrigérants n'auront même pas besoin de fonctionner en adiabatique.

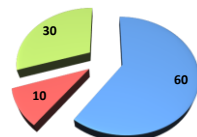
Free-chilling avec fonctionnement alternatif du groupe de production d'eau glacée ou de l'aéroréfrigérant - Doc. A. GARNIER

Niveau de confort à en attendre :

Avec une surface d'émetteurs satisfaisante on est en droit d'espérer pouvoir descendre de 4°C par rapport au pic de la température extérieure qui a lieu environ 1h ½ avant, compte-tenu de l'inertie thermique. Soit une température intérieure maintenue à 26°C le jour quand il fait 30°C à l'extérieur, ce qui en fait un excellent moyen de rafraîchissement à basse d'EnR.

Nous aurons alors le choix entre deux solutions de « free-chilling » :

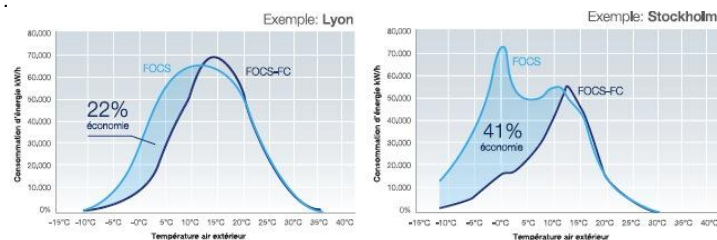
- Un free-chilling adiabatique avec un fonctionnement bivalent et un fonctionnement continu, ce qui nous permettrait d'arriver au gain d'énergie ci-dessous :



Taux de couverture de 60% du free-chilling adiabatique avec une température d'eau de 13/18°C et un fonctionnement en continu.

- Adiabatique en sec
- Adiabatique en humide
- Groupe de froid

- Un free-chilling sec + fonctionnement alternatif, on pourra espérer arriver au gain d'énergie ci dessous ; ce qui n'est déjà pas si mal par rapport aux installations classiques :



La latitude et le type de climat sont des facteurs importants qui influencent le gain d'énergie.

5.1.4 Les différents modes de fonctionnement

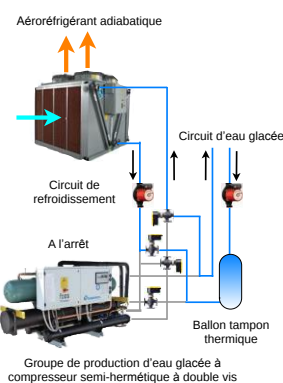
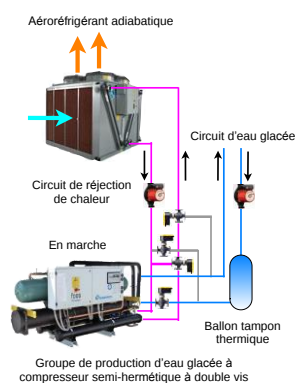
Fonctionnement alternatif (le seul utilisé actuellement) :

- L'aéroréfrigérant permettant le free-chilling sera utilisé une bonne partie de l'hiver et de la demi-saison. A partir du moment où la température extérieure ne le permettra plus, il sera réaffecté à la dissipation de la chaleur de réjection du groupe à compression ou de la machine à absorption de production d'eau glacée.

Froid thermodynamique

ou

free-chilling

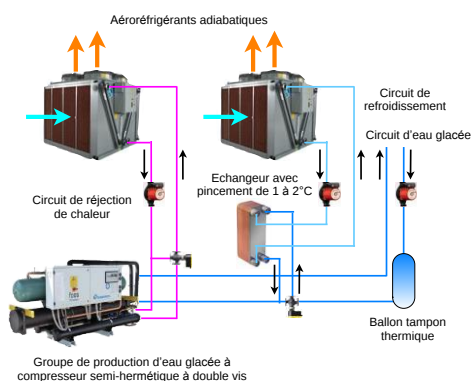


L'économie d'énergie sera importante et la rentabilité du projet sera d'autant plus élevée que les besoins de refroidissement seront importants et que la surface d'échange des émetteurs s'y prêtera.

Fonctionnement bivalent (notre innovation) :

- L'aéroréfrigérant permettant le free-chilling sera utilisé une bonne partie de l'hiver et de la demi-saison de façon à se servir au maximum de la potentialité du free-chilling. Il n'est donc plus question de « commuter » entre free-chilling et froid thermodynamique. Tous deux sont mis à contribution en même temps avec une priorité free-chilling et un appoint ou pas en froid thermodynamique.

Exemple 1 : Free-chilling avec complément en froid thermodynamique au moyen d'un seul groupe de production d'eau glacée en demi-saison



Dans cette configuration on devra disposer de deux aéroréfrigérants.

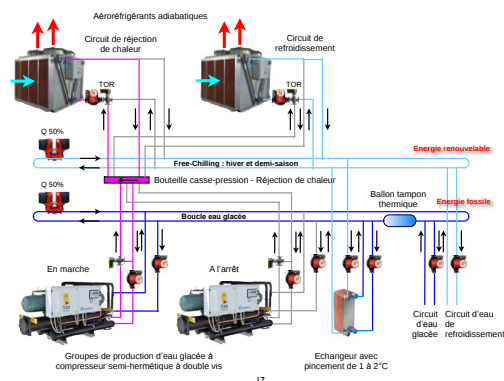
Ainsi on pourra être amené à climatiser grâce au free-chilling dans un premier temps puis en froid thermodynamique dans un second.

A partir du moment où la température extérieure ne le permettra plus, la dissipation de la chaleur de réjection du groupe à compression ou de la machine à absorption de production d'eau glacée sera effectuée par l'aéroréfrigérant approprié ou mieux encore au moyen des deux aéroréfrigérants ce qui permettra d'augmenter la surface d'échange et donc d'augmenter l'efficacité énergétique de la production de froid.

Nota : Un échangeur à plaques sera nécessaire entre les deux circuits, de réjection d'une part et de free-chilling d'autre part. On devra prévoir un pincement faible de l'ordre de 1 à 2K maximum pour ne pas perdre une partie de l'intérêt de cette solution.

Cette solution de froid EnR est prometteuse et on se demande bien pourquoi on ne l'utilisait pas jusqu'alors ...

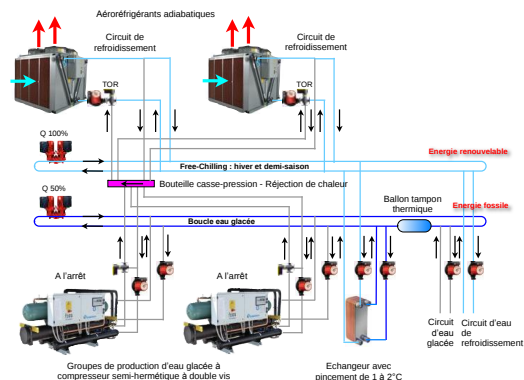
Exemple 2 : Free-chilling avec complément en froid thermodynamique mais cette fois-ci au moyen de 2 groupes dont 1 seul fonctionnera en demi-saison



Dans cette configuration on disposera de deux aéroréfrigérants pour 2 groupes.

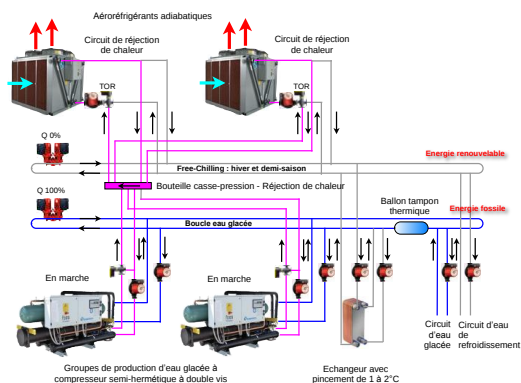
Ainsi on pourra réaliser toutes les combinaisons possibles : free-chilling + froid thermodynamique (schéma), free-chilling seul, froid thermodynamique seul (voir la suite).

Exemple 3 : Free-chilling seul, en hiver et en début de demi-saison (plus de 60% de l'année)



La température extérieure étant plus basse la nuit (écart diurne), on pourra d'autant plus recourir au refroidissement nocturne des locaux grâce au free-chilling et aux émetteurs à basse température, lesquels permettront d'extraire la chaleur stockée dans la structure du bâtiment.

Exemple 4 : Froid thermodynamique seul au moyen des 2 groupes d'eau glacée en été



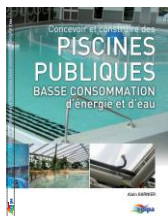
Article rédigé par Alain GARNIER

<http://www.be-garnier.fr/>



Alain Garnier est ingénieur et directeur du bureau d'études GARNIER 20 rue Chanteraine à Reims.

Lauréat du premier prix de l'Eco-Efficacité catégorie « concepteurs » en 2009 récompense remise lors de l'UCE (Université du confort et de l'eau) de ICO à Lille.



Concevoir et construire des Piscines Publiques Basse consommation d'énergie et d'eau <http://www.edipa.fr/LibrairieTechnique/Details/467>
<http://www.amazon.fr/Concevoir-construire-piscines-publiques-basse-consommation/dp/2862431028>
<http://www.mediaterr.org/france/actu.20120802111856.html>
<http://www.myboox.fr/livre/concevoir-et-construire-des-piscines-publiques-basse-consommation-d-energie-et-d-eau-1753651.html>

Basse consommation et piscines publiques du futur

! http://conseils.xpair.com/actualite_experts/basse-consommation-et-piscines-publiques-du-futur.htm

Guide des piscines à basse consommation - Acte

1 http://conseils.xpair.com/actualite_experts/guide_piscines_basse_consommation.htm

Piscines basse consommation – Le guide http://conseils.xpair.com/actualite_experts/piscines-basse-consommation-guide.htm#chap2.8

<http://media.xpair.com/redac/basse-consommation/Guide-piscine-basse-consommation.pdf>

Concevoir des piscines basse consommation, plaider

utile http://conseils.xpair.com/actualite_experts/plaidoyer-piscines-basse-conso.htm

Piscines basse consommation – Le guide <http://www.aqua6.org/pages/Les-piscines-publiques%3A-Basse-consommation.html>