

# Et si on se préparait

## Second volet



Dans ce deuxième article, l'auteur, Alain Garnier, responsable du bureau d'études rémois éponyme, explore les différentes associations de sources thermiques pour les appliquer en résidentiel, en tertiaire et en piscine. Avec aussi quelques précautions de conception indispensables.

Le centre commercial One Nation des Clays-sous-Bois (Yvelines) est équipé d'un free-chilling «sec» qui permet d'économiser 22 % d'énergie. Conception thermique par le bureau d'études Alain Garnier.

Le premier article sur ce sujet de la performance énergétique assistée par des systèmes à énergies renouvelables – voir le n° 767 de CFP, en pages 54 à 56 – se terminait en présentant une production industrielle de froid à partir d'eau froide issue de free-chilling et d'eau glacée reprise au niveau du système frigorifique.

Dans la solution proposée, on fait appel au free-chilling pour couvrir une partie des besoins en rafraîchissement.

Il n'est pas inutile de rappeler ce qu'est le free-chilling ; beaucoup confondent encore le free-chilling – de chiller, «refroidisseur» en anglais – et le free-cooling – de cooling, «rafraîchissant» en anglais.

- Le free-chilling sera obtenu par un aérorefrigérant ou une tour de refroidissement. Ce type d'équipement refroidira l'eau en lieu et place du groupe de production d'eau glacée. Son action sera particulièrement intéressante dans les périodes où l'air sec - et humide dans le cas de la tour ou d'un aérorefrigérant adiabatique - sera suffisamment froid.

- Le free-cooling sera obtenu au moyen de l'air frais introduit dans le local de façon naturelle ou mécanique, qui viendra compenser l'air chaud que l'on évacuera à l'extérieur.

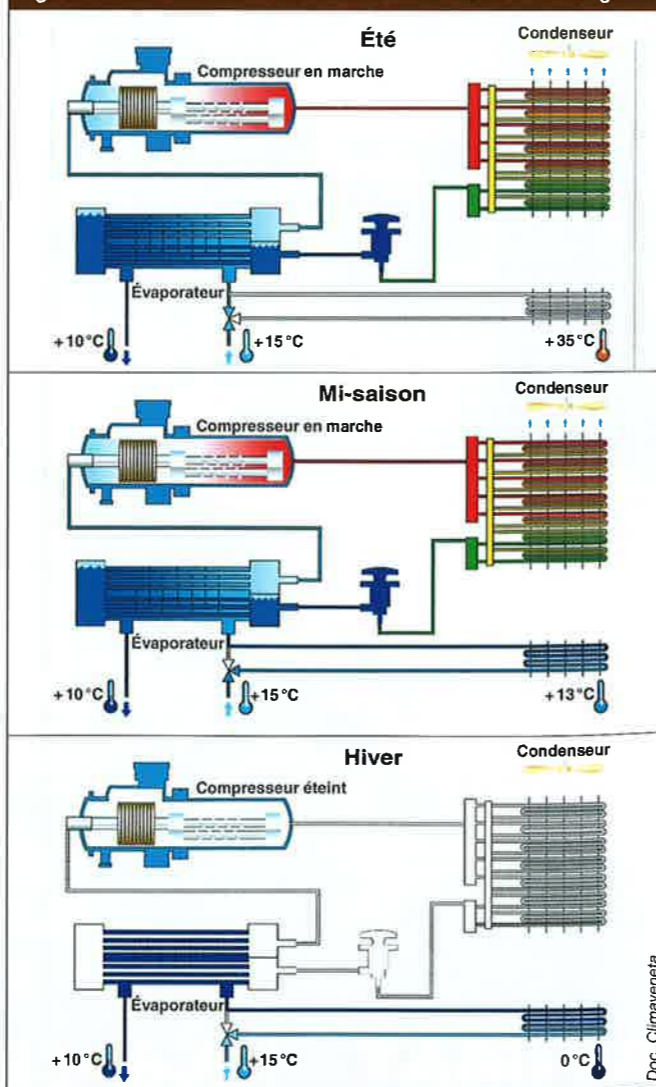
### Le free-chilling «sec»

Il s'agit d'une solution où l'on fera appel à un groupe de production d'eau glacée à condensation par air avec une batterie de free-chilling incorporée. Un aérorefrigérant 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. Ce, de façon à optimiser l'échange entre l'aérorefrigérant et l'air extérieur. Pour augmenter l'écart de température entre le départ et le retour, on recourra à un aérorefrigérant à débit variable.

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 de seulement quelques degrés à celle de l'ambiance.

Figure 1. Les trois modes de fonctionnement du free-chilling sec



En hiver et en mi-saison, ce concept permet d'économiser les consommations d'énergie.

Doc. Climatvnet

# pour 2020 ?

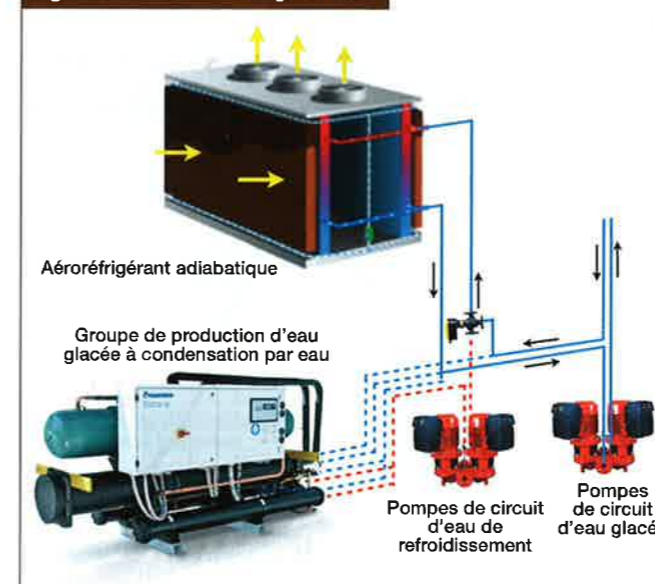
## Le free-chilling «humide»

Quel est son principe de fonctionnement ? Il repose sur une production d'eau froide à une température inférieure de quelques degrés à celle de l'air l'extérieur. Ou, plus exactement, à celle de sa température humide. L'eau est refroidie à l'intérieur de l'aérorefrigérant par l'air extérieur ; de fait, la machine frigorifique n'a pas besoin d'être mise en service.

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-nocturne oblige), 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, au cours de cette période, les aérorefrigérants n'auront même pas besoin de fonctionner en mode adiabatique.

Figure 2. Le free-chilling humide



Doc. A. Garnier

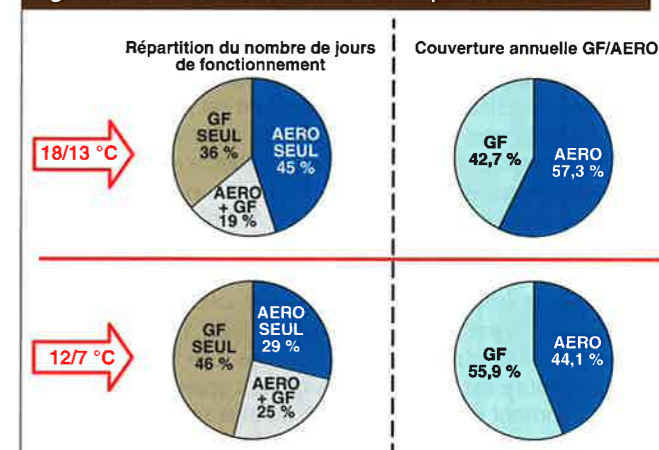
Free-chilling avec fonctionnement alternatif du groupe de production d'eau glacée ou de l'aérorefrigérant.

Quel est le niveau de confort à attendre de ce type de solution ? Avec une surface d'émetteurs satisfaisante, et compte-tenu de l'inertie thermique, on est en droit d'espérer pouvoir descendre la température intérieure de 4 °C par rapport au pic de température extérieure qui a lieu environ 1 h 30 avant. 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.

### Les sources d'erreurs courantes dans l'évaluation des économies d'énergie

Le sujet des erreurs d'appréciation dans les études de systèmes est rarement, voire jamais, évoqué. Même la littérature technique américaine, pourtant friande de free-chilling, n'en fait pas écho. L'une des principales sources d'erreur de conception de ce

Figure 3. Taux de couverture annoncé par un constructeur



Installation en free-chilling sec réalisée à Lyon, suivant différentes températures d'eau glacée.

type d'installation est liée à la différence entre le potentiel de rafraîchissement d'un bâtiment et l'efficacité énergétique du système qui sera mis en place.

On peut lister ces différentes erreurs commises :

1. Les constructeurs nous annoncent, au travers de leur bilan thermique de free-chilling, un gain pouvant aller parfois jusqu'à 65 %. Il s'agit en fait d'un «potentiel de rafraîchissement» et non d'un résultat que vous obtiendrez à tous les coups.

Bien souvent, les calculs présentés tiennent compte du nombre d'heures dans l'année – de jour comme de nuit – pendant lesquelles les aérorefrigérants seront capables de délivrer une température d'eau refroidie permettant le rafraîchissement.

Cette approche fausse le résultat, car la nuit, du fait de l'écart diurne de la température sèche et, dans une moindre mesure de la température humide, on améliore le gain.

Ce point peut être éclairé par un exemple. S'il s'agit de bureaux, la climatisation ne fonctionne que de jour, alors que la production d'eau froide obtenue par le free-chilling est plus favorable la nuit en raison de l'écart diurne. Il faudra bien entendu ne prendre en compte que le rafraîchissement obtenu uniquement pendant les heures d'utilisation des bureaux.

La nuit, sur le plan énergétique, il sera d'ailleurs plus intéressant de fonctionner en free-cooling grâce à cet écart diurne. Durant cette période, on pourra réaliser un sous-refroidissement pour stocker le froid dans la structure du bâtiment et ainsi décaler l'heure du pic de température. Ce qui diminuera d'autant la consommation d'énergie destinée à la climatisation.

2. On considère, dans le «potentiel de rafraîchissement», que le free-chilling fonctionne tout le temps. Or, ce n'est pas souvent le cas. On fonctionne toujours en système alternatif : free-chilling ou production d'eau glacée. Il serait préférable d'avoir un système bivalent qui recourrait à des émetteurs permettant d'être alimentés en série par un flux mixte : free-chilling + production d'eau glacée. Ce point est abordé plus loin dans cet article.

3. Le bilan thermique de free-chilling tient rarement compte des véritables données météorologiques. Pour calculer les gains énergétiques, il est utile de visualiser l'évolution des températures tout au long de l'année. C'est l'intégration de cette



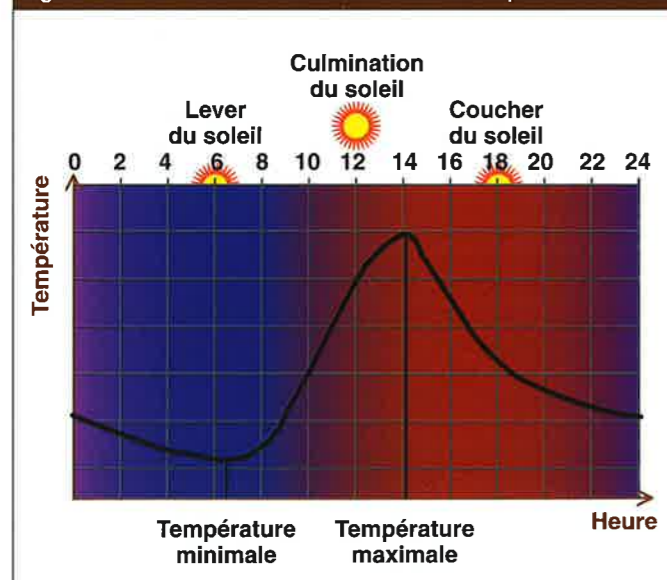
évolution des températures qui donnera la courbe des fréquences cumulées degrés-heures (D°h), véritable image des besoins en refroidissement du bâtiment. Les degrés-heures représentent la somme cumulée des écarts entre la température extérieure et la température de référence, à chaque heure de la saison de rafraîchissement.

Le logiciel permettant d'appréhender les gains en free-chilling devra fonctionner avec une température sèche et humide extérieure, avec un pas horaire et tenir compte de la courbe réelle de température avec ses particularités. Le sujet est connu des météorologues et des pilotes d'avion : il est assimilable à l'effet des radiations solaires sur la température de l'air. Seule différence : en bâtiment, on ne parle pas de rayonnement solaire – avec effet instantané – mais de température, avec un décalage de l'impact dans le temps.

- 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 il est au zénith, le plus haut dans le ciel) ; ce point correspond au passage du soleil dans le plan méridien local.

Figure 4. Effet des radiations solaires sur la température de l'air



La température extérieure minimale est décalée d'une demi-heure après le lever du soleil, et la température maximale, de deux heures après son passage au zénith.

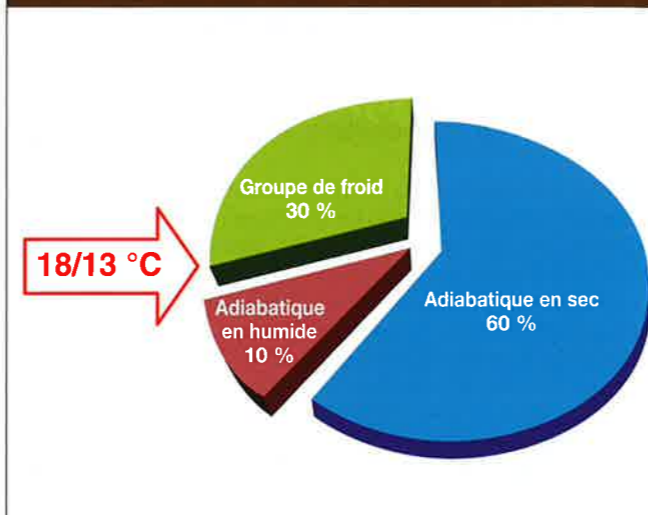
4. On ne tient pas compte de la surface d'échange des émetteurs destinés à dissiper la totalité du froid obtenu par le free-chilling. Or, bien souvent, il n'y a pas d'adéquation de puissance entre la production et l'émission, cette dernière étant sous-dimensionnée pour recourir à un free-chilling au maximum de ses possibilités.

Le «potentiel de rafraîchissement» que nous offre le free-chilling est important et nous y aurons recours de plus en plus dans les prochaines années du fait de l'augmentation des performances de l'isolation thermique, des apports calorifiques internes, de notre besoin croissant de confort et de la rareté des énergies fossiles.

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

- Le free-chilling adiabatique avec un fonctionnement bivalent et un fonctionnement continu. Ce qui permettrait d'obtenir un gain d'énergie de pratiquement 70 % (figure 5).

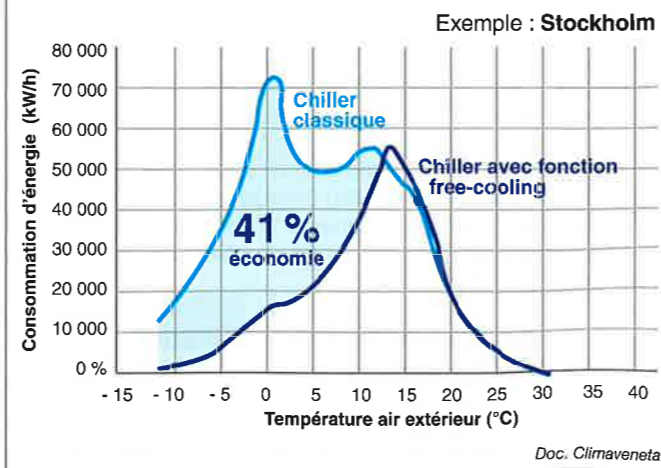
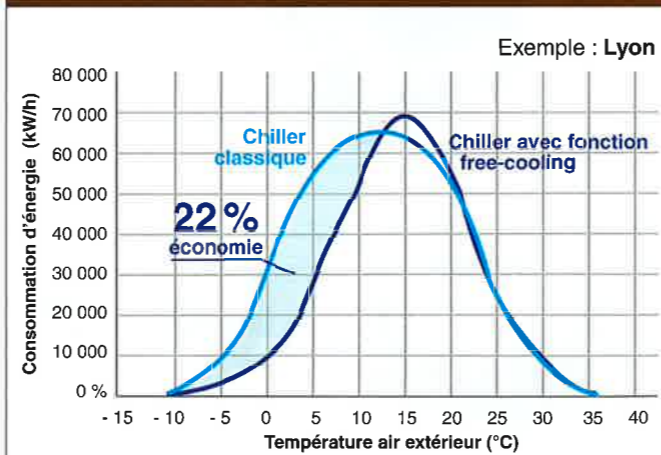
Figure 5. Participation des équipements au rafraîchissement des bâtiments



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

- Le free-chilling sec avec fonctionnement alternatif. Selon ce mode, on pourra espérer arriver au gain d'énergie de 20 à 40 %, comme indiqué dans la figure 6. Ces taux sont inférieurs à ceux de la solution précédente ; ils sont cependant intéressants au regard des installations classiques.

Figure 6. Simulation de free-chilling sec avec fonctionnement alternatif à Lyon et à Stockholm

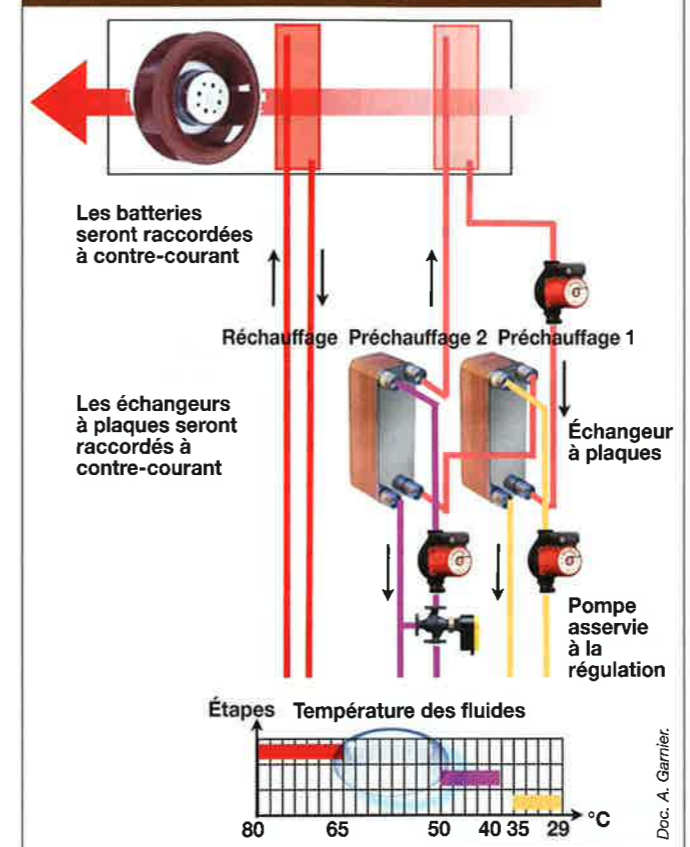


La latitude et le type de climat influencent de manière importante le gain d'énergie.

**Émission de chaleur et de rafraîchissement : faire le bon choix**

Si on souhaite réaliser un préchauffage au moyen d'une récupération de chaleur ou d'énergies renouvelables, il faut installer les émetteurs en série avec un ordre dépendant de leur gradient de température. Les concepteurs et installateurs peuvent suivre cette démonstration en suivant le schéma de la figure 7.

Figure 7. Association de trois sources pour alimenter les batteries d'eau chaude d'une CTA



Installation de production de chaleur de type 6 tubes, avec deux échangeurs et deux batteries.

- Le  $\Delta t$  entre deux des trois sources chaudes est de 15 °C ;
- Le régime du circuit de réjection de chaleur d'un des groupes de froid est de 35/29 °C.
- Le régime du circuit de désurchauffe d'un second groupe de froid affiche 50/40 °C.
- Le réseau de chaleur permet un régime à 80/65 °C.

On aura intérêt à regrouper le secondaire des échangeurs dont les deux circuits présentent des gradients de température très proches. Avec un régime 50/29 °C et un pincement de 2 °C, on pourra ainsi alimenter une première batterie de préchauffage sur la centrale en 48/27 °C, soit un  $\Delta t$  de 21 °C. Quant au réseau de chaleur, il alimentera directement une seconde batterie de réchauffage sur la centrale en 80/65 °C, c'est-à-dire avec un  $\Delta t$  de 15 °C.

Pour rafraîchir et climatiser, on aura recours

Figure 8. Produire du chaud et du froid

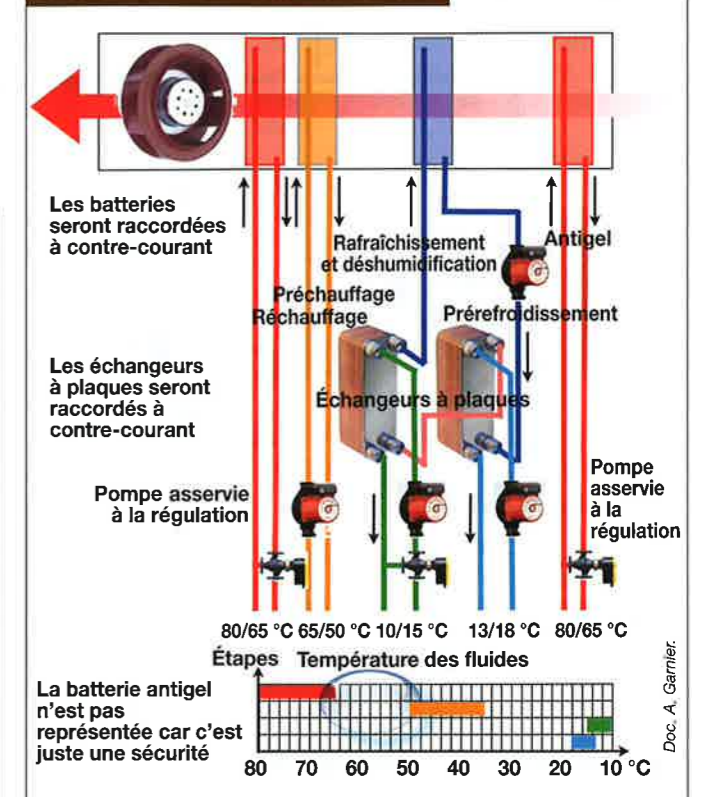
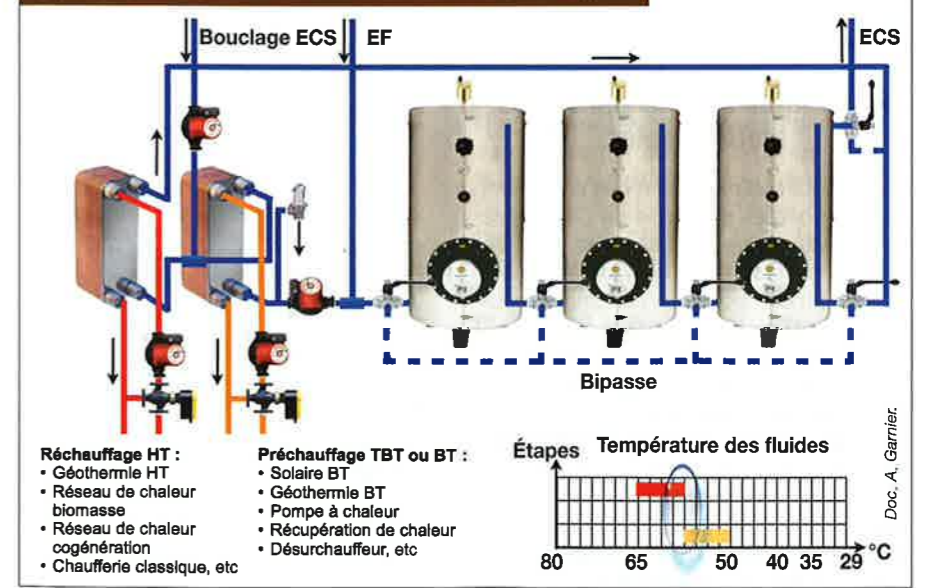


Schéma en chaud et froid : système à huit tubes, avec une batterie antigel, deux échangeurs et quatre batteries.

à un système avec une batterie et quatre tubes (figure 8). Dans ce type d'installation, la batterie chaude «antigel» en entrée de centrale de traitement d'air est indispensable pour éviter, en hiver, le gel des batteries froides non utilisées. Elle permettra de souffler de l'air à 5 °C. Cette batterie devra être alimentée en permanence avec un circuit chaud, par exemple avec une chaudière. En revanche, si les batteries froides fonctionnent en hiver, cette batterie «antigel» est inutile, car dans ce cas, le circuit de rafraîchissement sera alors obligatoirement glycolé.

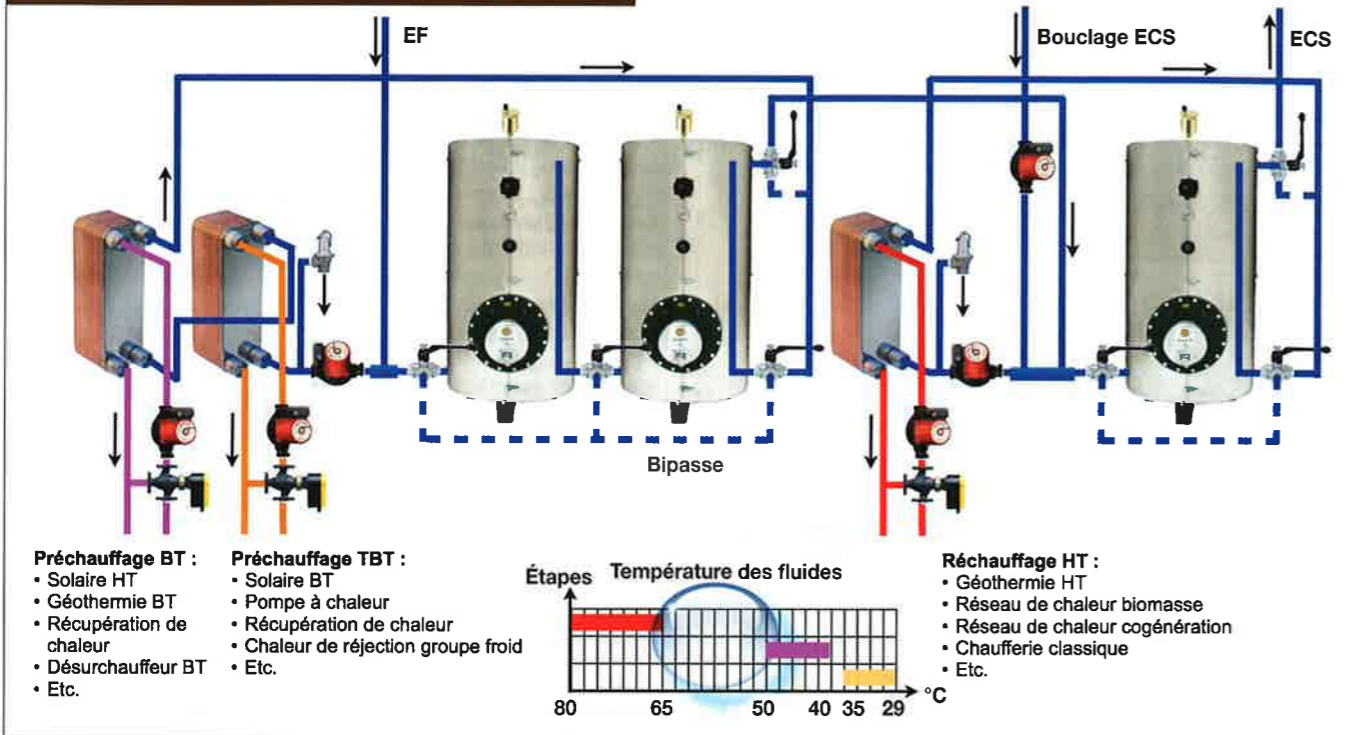
Figure 9. Produire de l'ECS avec deux sources thermiques



Les 2 étages de production de chaleur sont mis en série et l'eau chaude est accumulée dans plusieurs ballons.



Figure 10. Produire de l'ECS avec trois sources thermiques



Cette solution repose sur un préchauffage avec ballons tampon et une préparation à haute température.

**Produire de l'eau chaude sanitaire avec deux ou trois sources de chaleur**

La figure 9, page précédente, indique le montage hydraulique pour la production d'eau chaude sanitaire avec une génération de chaleur de même type.

La solution avec deux sources de chaleur est constituée, côté génération, d'un étage de préchauffage et d'un étage de montée à haute température. L'eau produite est accumulée.

La figure 10 ci-dessus indique le montage hydraulique pour la production d'eau chaude sanitaire avec trois sources de chaleur.

Ce système est constitué, côté génération, d'un étage de préchauffage à deux sources de calories ; l'énergie produite est adressée dans des ballons tampons. Un second étage à haute température permet de préparer l'ECS. L'eau produite est accumulée.

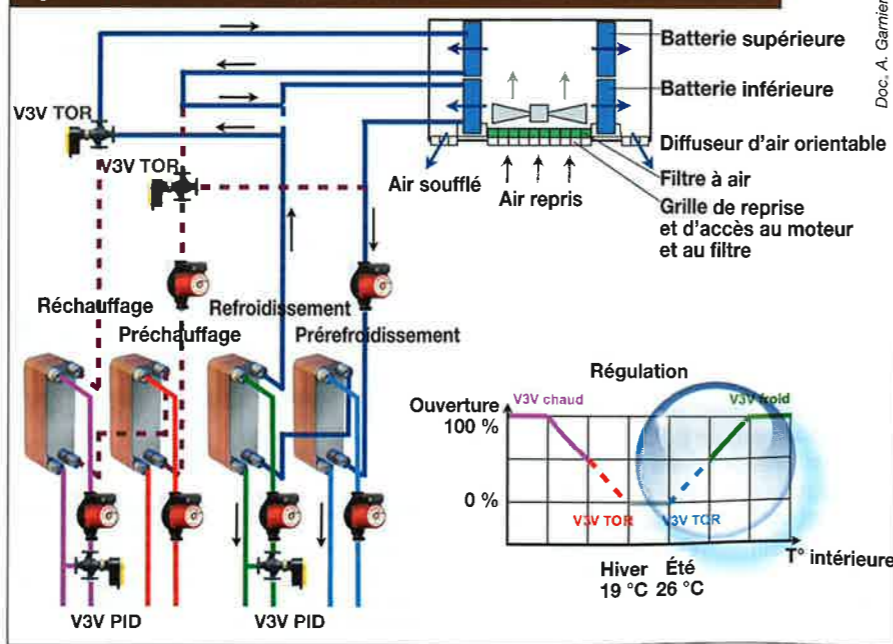
**Réhabilitation et associations multiénergies**

Ce concept d'alimentation des émetteurs par des sources d'énergie de différentes températures peut aussi être mis en œuvre en réhabilitation. Il peut s'agir d'une installation comportant à l'origine un système «4 tubes + 2 batteries» ; on rencontre aussi le cas où, dans une même zone, il existe des besoins conjugués de chauffage et de rafraîchissement.

Dans un système «4 tubes, 2 batteries», les cassettes ou ventilo-convecteurs disposent de deux batteries indépendantes raccordées aux circuits d'eau chaude et d'eau glacée. Le nombre de rangs de la batterie froide est plus élevé que celui de la batterie chaude, ce en raison du Δt plus

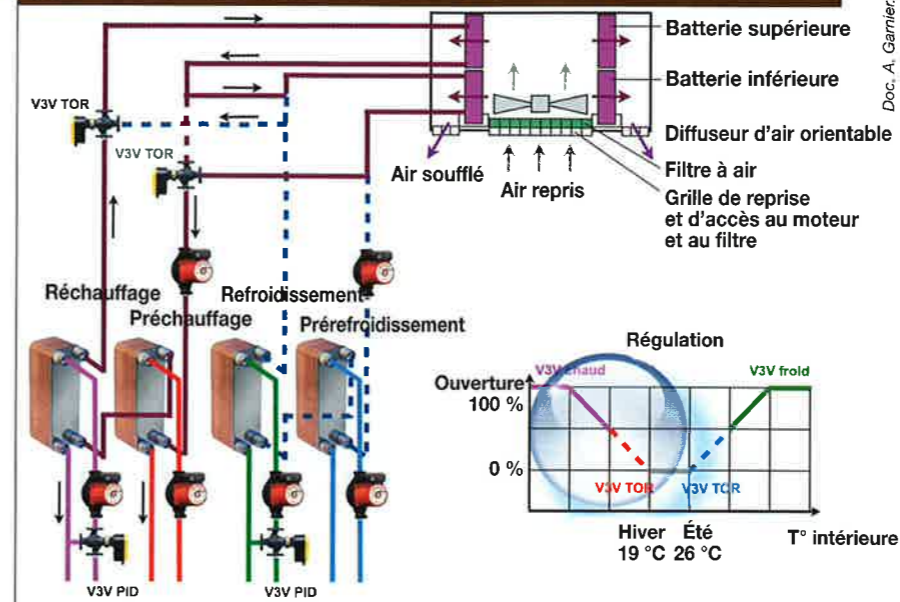
faible entre la température de l'eau et celle de l'air. À l'occasion du chantier de réhabilitation, on pourra augmenter la surface des émetteurs en mettant en série leurs batteries froides et chaudes ; cependant, l'une des deux est normalement inutilisée. Exemple : avec un système 4 tubes et 2 batteries, si l'on veut avoir la plus grande surface d'échange pour réaliser du chauffage à partir de fluides à basse température, on utilisera les schémas des figures 11 et 12. On pourra également «commuter» les fluides et passer du chauffage au rafraîchissement ou à la climatisation à partir d'eau froide provenant du free-chilling, suivie d'eau glacée provenant du système frigorifique.

Figure 11. Fonctionnement en froid d'une cassette 4 tubes et 2 batteries



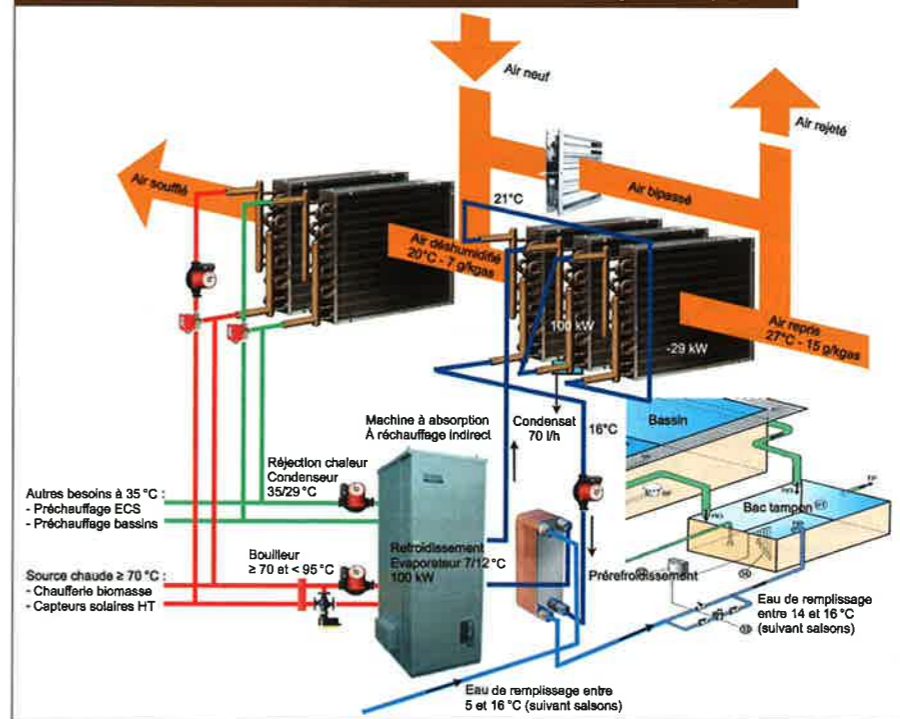
Les batteries sont alimentées par deux échangeurs mis en série.

Figure 12. Fonctionnement en chauffage d'une cassette 4 tubes et 2 batteries



Les batteries sont mises en série, comme les échangeurs d'alimentation.

Figure 13. Installation de déshumidification et de chauffage d'une piscine



Ce système thermodynamique est basé sur une machine à absorption et une CTA pour piscine.

**Respecter quelques règles de base...**

Pour éviter de casser certains générateurs de production de chaud et de froid, et pour ne pas mélanger les flux issus d'équipements à énergies renouvelables avec ceux en provenance de transferts thermiques, il est indispensable de séparer ces derniers au moyen d'échangeurs de disconnexion. Pour favoriser le recours aux systèmes de récupération et aux transferts thermiques, afin de substituer au maximum l'énergie fossile par des EnR, on installera en série les

émetteurs suivant leur gradient de température. Du point de vue de la consommation d'énergie, il vaut mieux installer les émetteurs côté eau plutôt que côté air : les pertes de charge sur les batteries conduisent à des consommations électriques trop importantes et augmentent le niveau sonore. Toutefois, si l'écart de température entre les fluides est trop important, il vaudra mieux installer deux batteries pour éviter le mélange...

• **Fonctionnement en rafraîchissement**  
L'eau passera successivement sur les échangeurs à plaques de prérefroidissement, puis de refroidissement, pour aller ensuite alimenter les deux batteries en série.

• **Fonctionnement en chauffage**  
L'eau passera successivement sur les échangeurs à plaques de préchauffage puis de réchauffage pour aller ensuite alimenter les deux batteries en série.

Le Δt sur le préchauffage, entre la température de l'eau et celle de l'air, étant faible, on pourra se contenter d'une régulation agissant en «tout ou rien».

**Industrie, piscines : exemple d'une déshumidification à efficience énergétique maximale**

Ce type d'installation n'est pas réservé au tertiaire. Il peut aussi être exploité pour le traitement d'ambiance des piscines. Le système d'émission et de récupération est alors composé de trois batteries en série : deux batteries froides regroupées en une seule et une batterie chaude, dite batterie de transfert.

Les deux batteries froides permettent de déshumidifier l'air. Pour ce faire, il faut d'abord refroidir l'air jusqu'à atteindre le point de saturation, puis le point de rosée (apparition de la condensation). Ce phénomène permet de faire chuter le poids d'eau, donc de déshumidifier l'air.

Seconde phase : il est nécessaire de réchauffer cet air afin qu'il atteigne la température ambiante. Cette opération est assurée par la batterie de transfert (Tr).

La figure 13 présente un exemple d'installation de déshumidification. L'air repris dans le bâtiment du bassin de la piscine est d'une température de 27 °C et d'une humidité spécifique de 15 g/kg.as. Les batteries froides placées en entrée de la reprise d'air sont alimentées par de l'eau glacée à 7 °C ; elle circule à contre-courant par rapport au sens de l'air afin d'optimiser l'échange thermique. Cette eau glacée refroidit l'air en allant jusqu'à la courbe de saturation et permet ainsi de condenser l'eau contenue dans l'air humide. L'air chaud et humide à 27 °C réchauffe cette eau qui atteint une température de 21 °C en sortie des batteries froides. En sortie de la batterie de déshumidification (Du), l'air est à 9 °C et d'une humidité spécifique de 7 g/kg.as. Cette eau à 21 °C va circuler dans la dernière batterie dite de transfert (Tr). Celle-ci réchauffera l'air froid et sec. La température d'air en sortie de cette batterie «Tr» est alors d'environ 20 °C. L'énergie exploitée par la batterie de transfert est gratuite. Elle allégera d'autant la puissance à appliquer à la batterie terminale de chauffage.