



Comment améliorer une installation de froid sur le plan énergétique et augmenter sa puissance tout en maîtrisant les charges ? La réponse donnée par ce bureau d'études exploite l'association des systèmes thermodynamiques et l'exploitation de la chaleur fatale de réjection des groupes de froid.

Par Alain Garnier, ingénieur thermicien

Implantées en 1984, vétustes, fonctionnant au R-22 (du HCFC), les installations de production de froid alimentaire et de climatisation du centre hospitalier de Tourcoing vont être remplacées. Ce projet tient aussi compte des besoins frigorifiques liés à l'agrandissement d'une aile.

Les équipements existants sont très consommateurs d'énergie : les groupes de 255 kWf fonctionnaient à 6 °C de température d'eau glacée avec un refroidissement en eau à 50/40. Des tours de refroidissement ouvertes leur sont associés : leur puissance unitaire est de 520 kW au régime d'eau 50/40 °C. Une seule est nécessaire, la seconde est hors d'état de fonctionner ce qui mettrait le centre hospitalier en difficulté en cas de panne de celle en service...

La demande du maître d'ouvrage et exploitant du site est de :

- diminuer la consommation d'énergie globale, pour la production de froid et les auxiliaires ;
- tenir compte de l'extension et de ses besoins en froid tout en dégageant une marge de surpuissance d'environ 15 % pour les extensions à venir ;
- faire en sorte que le gain d'énergie des nouvelles installations compense une partie de la consommation des extensions ;
- faciliter l'exploitation et permettre un suivi des consommations d'énergie pour le froid et les auxiliaires, avec affichage d'indicateurs de performances ;
- assurer une possibilité de secours en froid ;
- recourir aux énergies renouvelables pour améliorer les coûts d'exploitation et supporter les fluctuations des coûts d'énergies fossiles ;
- supprimer le R-22 (CFC : chlorofluorocarbones) pour respecter la réglementation sur les fluides ;
- supprimer le risque légionelle liés à la présence de tours de refroidissement ouvertes ;
- faire en sorte que les services, et plus particulièrement les blocs opératoires, soient opérationnels lors des travaux.

## 1. Organisation, conception et maîtrise d'œuvre

### 1.1- Conception du froid climatisation

Quels sont les futurs besoins en froid ? Dans l'extension d'une l'aile se situeront à l'avenir plusieurs services qui totaliseront près de 5 500 m<sup>2</sup> (tableau 1).

Tableau 1. Les besoins frigorifiques de l'extension de l'aile C du Centre hospitalier de Tourcoing

| Services                          | Surface m <sup>2</sup> | Puissance kWf à 13 °C | Puissance kWf à 10 °C |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Réanimation                       | 1 450                  | 126                   |                       |
| Surveillance continue réanimation | 1 200                  | 100                   |                       |
| Chirurgie ambulatoire             | 545                    |                       | 45                    |
| Secteur naissance                 | 1 200                  | 100                   |                       |
| Blocs opératoires                 | 400                    |                       | 120                   |
| Néonatalogie                      | 450                    | 37                    |                       |
| Salles monitoring et échographie  | 150                    | 12                    |                       |
| <b>Total</b>                      | <b>5 495</b>           | <b>375</b>            | <b>165</b>            |

Le calcul à 10 °C et 13 °C permet d'apprécier la différence de puissances nécessaires.

Ces données permettent de calculer les besoins globaux du site (tableau 2) :

Tableau 2. Les besoins frigorifiques sur les deux locaux de production de froid

| Besoins frigorifiques     | Local technique existant<br>Puissance kWf EG 13 °C | Local technique aile C<br>Puissance kWf EG 10 °C |
|---------------------------|--|--|
| Besoins existants         | 120  | 260  |
| Ventilo-convecteurs       | 87   |  |
| IRM                       | 70   |  |
| Laboratoires              | 87   |  |
| Besoins nouveaux          | 375  | 165  |
| Stérilisation laboratoire | 60   | 170  |
| <b>Total</b>              | <b>799</b>   | <b>595</b>                                       |

Les nouveaux usages vont augmenter les besoins de froids de 30 à 45 % selon le régime d'eau retenu.

La production de froid à 13 °C par l'installation existante aura donc une puissance globale de 799 kWf ; celle à 10 °C installée au niveau de l'extension d'une aile de l'hôpital aura une puissance globale de 595 kWf.



# t s économiser de l'énergie installations de froid ?

## 1.2- Première analyse avant le choix des solutions

Ce travail de conception fait suite à un audit énergétique réalisé en 2012 qui prenait en compte l'extension d'une aile de l'hôpital et concluait au renouvellement des groupes, au remplacement du R-22 et à la diminution de la consommation énergétique. Il a donné lieu à un marché de conception et de maîtrise d'œuvre technique attribué à l'auteur de cet article.

En cours d'avant-projet sommaire (APS), le centre hospitalier a informé le bureau d'études de nouvelles demandes en froid conduisant à une augmentation de puissance.

Le maître d'ouvrage a aussi informé la maîtrise d'œuvre technique qu'il souhaitait que les économies d'énergie puissent compenser au mieux cette extension des besoins en froid.

Lors des relevés sur l'existant, il a été remarqué qu'une partie de l'eau glacée était inutilement produite à 6 °C ; en outre la température d'eau de refroidissement des groupes retenue était élevée : 50 °C. Or, un gain de 1 °C sur la température d'évaporation ou de condensation permet un gain électrique de 3 % sur la consommation du compresseur.

Par ailleurs, du free-cooling est déjà pratiqué. Selon la conception des établissements de santé au début des années 80, les blocs opératoires composés de plusieurs salles disposent d'une centrale de traitement d'air commune d'un renouvellement d'air de 12 vol/h. En conséquence, le free-cooling permet d'évacuer la chaleur des apports en début et fin de demi-saison. En revanche, ce renouvellement d'air continu à 12 vol/h en été et en hiver induit des consommations d'énergie importantes en rafraîchissement et en chauffage.

## 1.3- L'analyse finale : fondamentaux et choix

Ces observations ajoutés au résultat de l'audit énergétique guidé les choix du BET. Ainsi :

- la production d'eau à deux températures d'eau glacée – 10 °C et 13 °C – a été mise en évidence dans deux zones de besoins : pour le rafraîchissement des chambres et des blocs d'une part, et pour le froid alimentaire d'autre part ;
- la continuité de production de froid en site occupé serait un sujet sensible ;
- la restructuration de la ventilation et le passage de 12 à 6 vol/h dans les salles d'opérations existantes et futures doivent être si possible compensés par un système de rafraîchissement gratuit ;
- l'augmentation de la puissance frigorifique nécessaire serait d'un facteur de 2,3.

Trouver des économies d'énergie permettant d'effacer la majeure partie de l'augmentation des consommations relevait d'un pari ambitieux.

## 2- Implantation des équipements

La solution retenue est de réaliser les deux sites de production de froid en deux temps. Elle a l'avantage d'assurer le maintien du service et de permettre à l'avenir un secours entre les sites. Quand les nouveaux blocs opératoires dans l'aile agrandie, ou

quand la rénovation des blocs opératoires existants sera réalisée, ces deux productions de froid pourront, tour à tour et suivant le phasage des travaux, continuer de desservir les centrales de traitement d'air, en particulier celles des blocs opératoires.

## 3- Quelle solution en climatisation

Après avoir analysé les besoins actuels et futurs, les concepteurs ont posé les principes d'une production de froid centralisée, plus performante et secourable :

- Le remplacement de l'actuelle production de froid sera accompagné de la création d'une seconde, au plus près besoins.
- Un local technique produira de l'eau glacée à 13 °C pour le rafraîchissement, l'autre à 10 °C pour la climatisation (et la déshumidification).
- Chaque production de froid utilisera le free-chilling pour couvrir la majeure partie des besoins de froid et compenser une partie du free-cooling qui, à court terme, disparaîtra. La surface d'échange des émetteurs sera augmentée en conséquence.
- On sélectionnera les groupes de production d'eau glacée pour en tirer un maximum de performance : une eau de refroidissement à basse température de 35/30 °C et des compresseurs à double vis modulant leur puissance de 25 à 100 %...
- On utilisera la chaleur de réjection des groupes pour préchauffer l'eau chaude sanitaire (hors période de free-chilling) ;
- On installera des auxiliaires à basse consommation d'énergie, en particulier des pompes de classe IE3 et à débit variable.
- On exploitera le superviseur de la GTC pour réaliser un bilan frigorifique à partir des comptages d'énergie et produire les indicateurs de performance.

Quels sont les avantages de ces choix ?

- Ils permettront de tenir compte des nouveaux besoins en froid avec une marge d'environ 15 % souhaité par cahier des charges.
- Ils permettront d'avoir deux productions de froid à deux endroits différents répondant à des températures différentes d'eau glacée :
  - si la température intérieure  $t_i \geq 24$  °C : eau glacée à 13 °C au lieu de 6/11 °C. C'est le cas du rafraîchissement des chambres et des salles de réveil,
  - si  $t_i < 24$  °C : eau glacée à 10 °C au lieu de 6/11 °C. C'est le cas de la climatisation des blocs opératoires et des laboratoires.

Cette distinction des températures d'eau glacée doit apporter un gain d'énergie de respectivement 21 % et 12 % sur la base de la production actuelle à 6 °C.

## 4- Conception de la production de froid à 13 °C

La production d'eau glacée à 13 °C est implantée près de la chaufferie et de la production d'eau chaude sanitaire. L'importante réjection de chaleur pourra être exploitée pour le préchauffage d'ECS hors fonctionnement en free-chilling. La production de froid alimentaire (10 °C) est également proche de la chaufferie et de sa production d'eau chaude sanitaire. La





**TECHNIQUE**

Centre hospitalier de Tourcoing

réjection de sa chaleur, plus faible, sera aussi exploitée. On aura donc pour chaque site de production de froid le schéma de principe en figure 1.

**4.1- Température d'eau glacée pour les blocs opératoires**

Les blocs opératoires exigent une température intérieure de 21 °C, à ± 1 °C (réglable de 19 à 26 °C). Le contrôle de l'humidité relative n'est pas nécessaire. On prévoira cependant une dés-humidification en été et demi-saison par les centrales de traitement d'air avec des batteries froides à grande surface d'échange – et à circulation à contre-courant – avec une température d'eau glacée sera suffisamment basse pour refroidir l'air (chaleur sensible) et le déshumidifier (chaleur latente). Ce choix technique permettra de gagner 5 à 6 % de performance énergétique sur l'année et de recourir plus amplement au free-chilling.

**4.2- Couplage des productions de froid**

La production d'eau glacée à 13 °C - en lieu et place de l'actuelle - et la nouvelle à 10 °C seront connectables (voir au centre de la figure 1). Cette liaison permettra de réaliser un secours et une optimisation des performances des groupes en fonction de la charge en froid. La performance thermique repose sur le fonctionnement des groupes à charge partielle. Le gain d'énergie est de 35%. La supervision de la GTC gèrera le nombre de groupes et la taille de ceux les plus adaptés à la charge.

Cette connexion entre les deux productions sera réalisée en phase 2 du chantier.

Quels sont les avantages de cette solution ?

- Les travaux prévus supprimeront le R-22 pour le remplacer par du R-134a.

- Elle permettra un secours une possibilité d'utilisation d'une production de froid sur deux, par communication entre les deux boucles primaires d'eau glacée.

- Elle limitera l'implantation à deux fois deux groupes à un compresseur, soit quatre compresseurs – modulable de 25 à 100 % - au lieu de huit traditionnellement. Le coût des travaux sera d'autant plus intéressant.

- La possibilité de fonctionnement prioritaire en free-chilling se traduira par un gain d'énergie d'environ 50 % sur la production de froid à 13 °C et de 23 % sur celle à 10 °C, à plus basse en température, mais plus sollicité notamment pour les blocs opératoires.

**4.3- Performance des aëroréfrigérants adiabatiques**

Avec l'utilisation d'aëroréfrigérants sec, la température de l'air extérieur permet de refroidir l'eau avec un Δt d'environ 5 K. Le gain énergétique par rapport à une tour ouverte sera d'environ de 20 %.

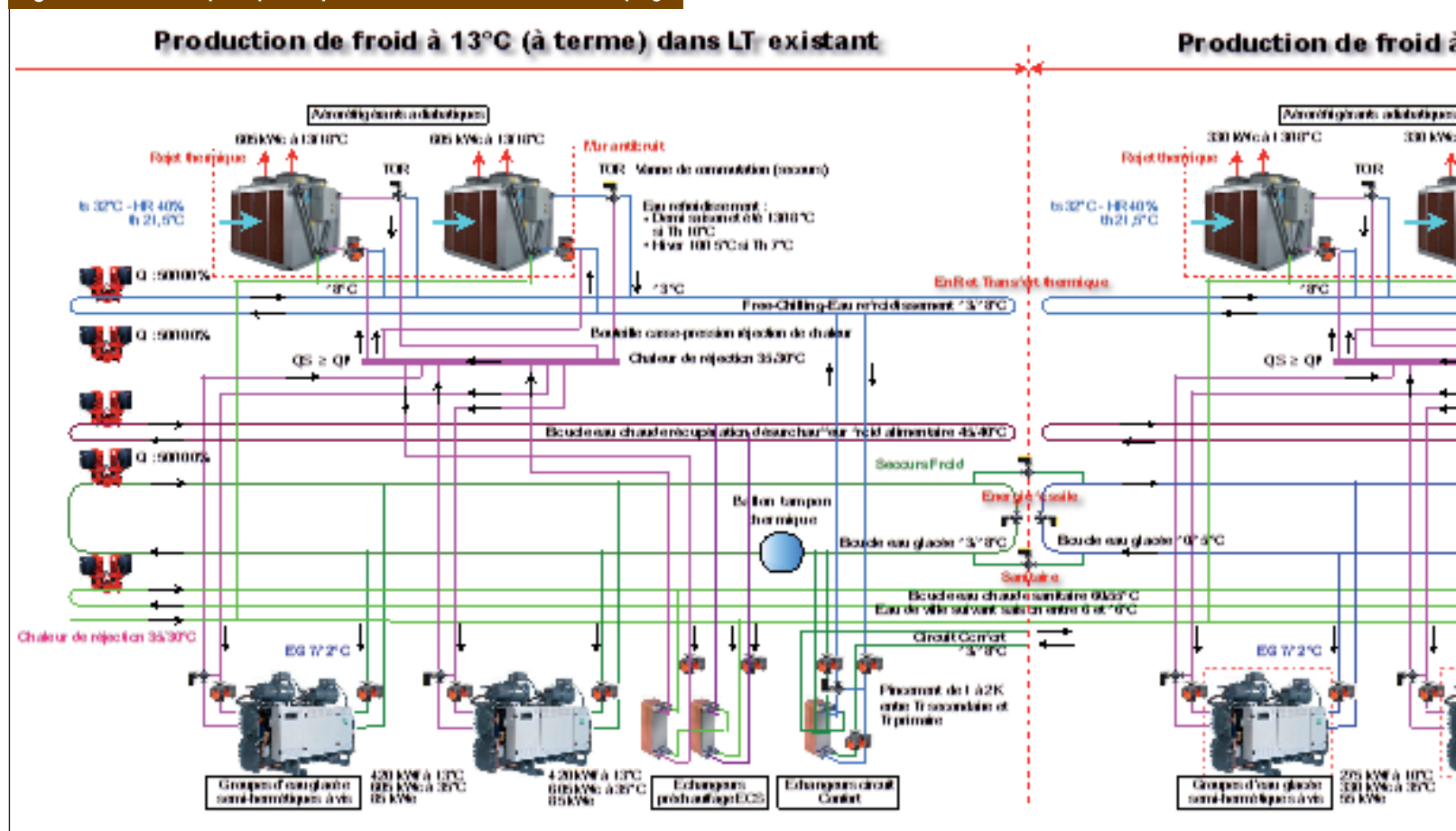
Avec l'utilisation d'aëroréfrigérants humides, la température de l'air extérieur permettra de refroidir l'eau avec un Δt d'environ 2,2 K entre le «bulbe humide» de cet air et l'eau à refroidir.

Le gain énergétique par rapport à un aëroréfrigérant sec sera donc d'environ de 6 %.

**4.4- Performance des émetteurs**

Lors du remplacement des émetteurs, il faudra sélectionner leur surface d'échange de façon à favoriser le free-chilling sans créer de pertes de charges supplémentaires. Ce qui conduirait à une surconsommation électrique des ventilateurs. Pour ce faire, il vaut mieux installer un minimum de batteries sur l'air et disposer des échangeurs sur l'eau de refroidissement et glacée.

Figure 1. Schéma de principe des productions de froid et de leur couplage



## 5- Conception du froid alimentaire

### 5.1- Choix de solution en froid positif

La température de condensation retenue pour le dimensionnement d'une installation de froid alimentaire est communément de l'ordre de 40 °C ; ce qui correspond, compte tenu d'un «pincement» de l'ordre de 8 K, à une température d'entrée d'air de 32 °C. Cette température d'air d'entrée correspond à une température «caniculaire». En vertu des règles et normes en matière de respect de la chaîne de froid, ce dimensionnement sera cependant retenu.

### 5.2- Choix de solution en froid négatif

En raison des limites mécaniques des compresseurs à pistons, le taux de compression haute pression / basse pression (HP/BP) ne peut pas dépasser la valeur de 8. En froid négatif, le taux nécessaire pour assurer des températures de l'ordre de - 35 °C au niveau de l'évaporateur est de l'ordre de 15. Ce qui implique de découper la phase de compression en deux étages. Si la puissance frigorifique devient importante, comme ici en cuisine hospitalière, le choix d'une centrale de compresseurs exploités en cascade s'impose pour les raisons de fiabilité et de sécurité de fonctionnement. La cascade permet aussi de moduler la puissance frigorifique. Cette variation progressive de la puissance est favorable au plan énergétique.

## 6- Récupération de la chaleur de réjection

Le préchauffage d'eau chaude sanitaire (ECS) sera assuré grâce à la chaleur de réjection des groupes de production d'eau glacée. La production de froid servant à la climatisation ne fonctionne qu'une partie de l'année en raison du système de free-chilling. Si la température de condensation est peu élevée, le gisement de chaleur de réjection est en revanche im-

portant. Comme le gradient de température est plus faible que celui du froid alimentaire, on le placera en amont dans le montage en série de la production d'ECS.

La récupération de la chaleur de réjection des groupes de froid alimentaire sera réalisée avec un condenseur à eau placé avant le condenseur à air des groupes.

## 7- Évaluation consommations et des gains d'énergie

Il est donc difficile d'estimer la consommation avant et après travaux ainsi que le gain financier. On ne présentera que le gain d'énergie en pourcentage.

### 7.1- Gain sur le froid rafraîchissement et climatisation

Le choix s'est porté sur des aérorefrigérants secs et d'un fonctionnement alternatif permettent d'améliorer l'efficacité énergétique, moins performant qu'un free-chilling sec. Cependant, il faudra favoriser le refroidissement nocturne des locaux sans créer d'inconfort pour les occupants. Ce qui valorisera mieux le free-chilling puisque la température extérieure sera plus basse la nuit.

La solution proposée est de recourir à des aérorefrigérants adiabatiques pour produire une partie du froid et de les faire fonctionner au maximum du potentiel d'économie d'énergie offert par le free-chilling.

Le gain d'énergie électrique obtenu sera de deux ordres du fait des températures d'eau glacée différentes et du temps de fonctionnement du rafraîchissement et de la climatisation :

- Elle apportera un gain d'énergie de 3 %/°C, soit respectivement 21 % pour le remplacement de l'ancienne production de froid, et entre 12 % et 21 % (loi d'eau glissante, moyenne de 17 %) pour la nouvelle production de froid (10 °C) de l'extension.
- La température d'eau de refroidissement, actuellement de 50/40 °C, est ramenée avec les nouvelles installations de froid à 35/30 °C. Soit un gain d'énergie de 13,5 %.

L'efficacité des compresseurs frigorifiques, quant à elle, a considérablement évolué, surtout entre une compression à piston et celle à double vis proposée ici qui permet une meilleure efficacité énergétique.

Le gain d'énergie apporté par des choix de température et une meilleure technologie des groupes sera d'environ :

- 21 % × 13,5 %, soit 37,3 % pour la production à 13 °C ;
- 17% × 13,5 %, soit 32,8 % pour la production à 10 °C.

À cela s'ajoute le gain d'énergie du fait du free-chilling et de l'arrêt des groupes. Soit :

- environ 39 % s'ils travaillent en mode sec, et 42 % avec des aérorefrigérants adiabatiques pour la production à 13 °C qui fonctionnera en permanence ;
- environ 25 % s'ils travaillent en sec, soit 30 % avec des aérorefrigérants adiabatiques pour la production à 10 °C qui fonctionnera uniquement de jour.

Sans tenir compte dans ces estimations du gain apporté par la modulation de puissance des compresseurs à vis, difficile à apprécier sans comptage, le gain d'énergie serait le suivant :

- une consommation d'énergie électrique pour la production de «froid rafraîchissement» et de «froid climatisation» 17 % supérieur à la consommation avant travaux ;
- une production de froid d'une puissance 2,3 fois supérieure par à celle en place.

Ce gain ne prend pas en compte le préchauffage de l'ECS par la chaleur de réjection des groupes, une énergie fatale non négligeable mais sans référence avec l'existant.

### 7.2- Gain sur le froid alimentaire

Le remplacement des installations de «froid alimentaire» apportera lui aussi ses propres économies d'énergie. De plus la chaleur de réjection des groupes permettra de préchauffer l'eau chaude sanitaire et dégagera un gain sensible.

Production de froid à 10°C (à terme) dans nouveau LT

