

TECHNICAL FOCUS

VPF VARIABLE PRIMARY FLOW

LES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE À DÉBIT VARIABLE (VPF)

L'attention croissante pour réduire les consommations d'énergie des installations de climatisation, liée à la recherche d'économies des coûts de gestion des installations et de l'exigence de réduire les émissions de CO₂, amène les constructeurs de machines et les concepteurs en technique thermique à examiner de nouvelles solutions alternatives par rapport aux schémas utilisés depuis désormais des dizaines d'années, encore valables mais pouvant être revus. En ce qui concerne la climatisation hydraulique, parmi les solutions innovantes les plus souvent examinées ces dernières années, nous trouvons les installations à débit de l'eau variable sur le circuit primaire, autrement désignées comme VPF (Variable Primary Flow).

Le développement de ces schémas débute aux États-Unis, il y a quelques années de là ; tout a été possible grâce à l'évolution technologique des groupes de pompage à vitesse variable et à l'adoption de logiques de contrôle toujours plus avancées pour gérer les modules refroidisseurs modulaires.



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
Chapitre 1 Schémas hydrauliques de référence	4
Chapitre 2 Analyse d'un cas d'étude	8
Chapitre 3 Conclusions	15



La collection « Approche Technique » veut illustrer, à titre purement indicatif, les avantages possibles dérivants de l'utilisation des solutions innovantes Aermec.

Étant donné que les données et les résultats présentés dans la publication font référence à des immeubles et à des situations spécifiques, ils peuvent varier même substantiellement selon les applications et les destinations d'utilisation. Pour cette raison, les calculs et les considérations effectuées dans ce document ne peuvent, en aucun cas, remplacer l'activité de conception de l'expert en technique thermique.

Aermec se réserve la faculté d'apporter à tout moment toutes les modifications estimées nécessaires pour l'amélioration du produit, en changeant éventuellement les données publiées.

INTRODUCTION

La modulation du débit de l'eau élaborée par les pompes d'installation selon la variation de la charge (possible grâce à l'utilisation de vannes à deux voies modulantes sur les batteries d'échange sur les unités de traitement de l'air et/ou de vannes à deux voies ON/OFF sur les ventilo-convecteurs) comporte, par rapport aux frais de pompage à pleine charge, une réduction non négligeable.

À ce sujet, il suffit de considérer que la puissance absorbée de la pompe est proportionnelle au débit élaboré et à la hauteur manométrique attribuée au liquide traité :

$$P_a = \frac{Q \cdot h \cdot \rho}{\eta}$$

Comme chacun sait, les pertes dans un circuit hydraulique sont mises en corrélation avec le carré de la portée du liquide en circulation :

$$\Delta p = k \cdot Q_w^2$$

Légende :

Q Débit

h Hauteur manométrique

ρ Densité

η Rendement



Donc, une réduction de 50% des débits de la valeur nominale comporte une réduction, sur les sections du circuit, des pertes de charge de l'installation de 25% environ de la valeur nominale ; il est évident que malgré la pénalisation de la valeur de rendement de la pompe par rapport à la valeur du point nominal, la réduction des frais de pompage n'est pas négligeable.

La motivation principale qui a poussé les concepteurs et les constructeurs à affronter ce type d'installations est liée surtout à la volonté de réduire le plus possible les frais de pompage de l'installation et donc, d'intervenir sur les consommations liées à la distribution de l'eau vers l'utilisateur ; c'est une mesure adoptée fréquemment, depuis déjà plusieurs années, mais aussi sur les consommations liées au pompage du liquide caloporteur à travers les refroidisseurs et les organes principaux de la centrale thermo-frigorifique.

Bien sûr, sur une majorité des installations, l'extension des sections du circuit dédiées à la distribution (circuit secondaire) est bien plus importante par rapport aux sections localisées de la centrale thermo-frigorifique (circuit primaire), pour lesquelles une grande partie des économies d'énergie sur le pompage est déjà réalisée avec la modulation du débit de l'eau sur le circuit secondaire ; l'économie d'énergie et d'argent ultérieure, liée au débit variable sur le circuit primaire, permet d'offrir des installations, déjà efficaces, toujours plus performantes et constitue une mesure d'efficacité énergétique normalement non onéreuse du point de vue économique.

Cette innovation, sur la façon de concevoir des installations, implique directement les constructeurs des machines pour la climatisation, vues les problématiques considérables que l'on peut rencontrer dans la gestion d'un ou de plusieurs refroidisseurs traversés par un débit de l'eau variable lors de son fonctionnement. Nous prendrons en examen, en règle générale, l'état de la technique, c'est-à-dire les solutions les plus communes d'installation avec des refroidisseurs et des pompes à chaleur liés au schéma VPF ; nous mettrons en évidence les attentions particulières à adopter pour le choix des machines, pour projeter l'installation, pour mettre au point le réglage du support du système, et nous ferons certaines évaluations quant aux possibilités d'économies pouvant être obtenues sur une installation de référence.

Au delà des considérations générales et de l'exemple traité, il est fondamentale de se rappeler qu'en adoptant ce nouveau mode d'installation, chaque cas sera traité à part, en examinant les criticités et en faisant les évaluations nécessaires quant à la faisabilité et à l'avantage par rapport aux machines spécifiques sélectionnées et à la configuration et extension de l'installation.



Chapitre 1 SCHÉMAS HYDRAULIQUES DE RÉFÉRENCE

Ci-dessous, sont reportés les deux schémas d'installation les plus communs qui ont toujours été utilisés pour une installation hydraulique de climatisation d'été et/ou d'hiver (le premier avec un seul groupe d'eau glacée, le deuxième avec plusieurs groupes d'eau glacée en parallèle).

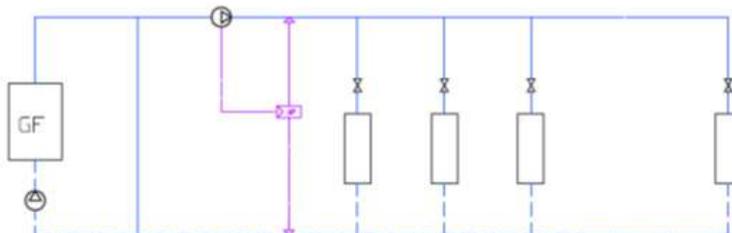


Schéma 1-a : installation à double anneau avec un simple groupe d'eau glacée.

Comme chacun sait, ces schémas à double anneau prévoient l'existence de deux circuits (le circuit primaire, localisé en général à proximité de la centrale thermofrigorifique, et le circuit secondaire, au service des utilisateurs).

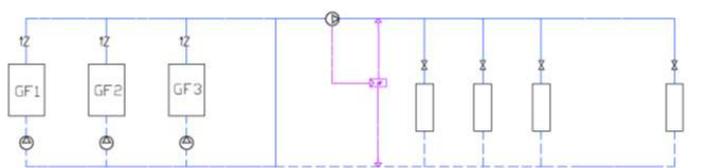


Schéma 1-b : installation à double anneau avec plusieurs refroidisseurs en parallèle.

Système AERMEC MULTI-CHILLER



Visualiseur pGD³



Fiche électronique pCO1

Comme il est reporté sur les schémas hydrauliques ci-dessus, le double anneau sert à maintenir le débit de l'eau constant vers l'échangeur de chaque groupe d'eau glacée.

S'il existait plusieurs modules refroidisseurs en parallèle (supportés par un régulateur Aermec Multi-Chiller), la réduction de la charge se traduirait en une extinction progressive des machines et de leurs pompes.

La raison principale de cette attention est liée au comportement du circuit de refroidissement lors d'un passage avec une variation du débit de l'eau. Normalement, les groupes peuvent accepter des débits de l'eau avec des valeurs qui se situent dans une échelle plutôt large (en général, le débit maximal correspond à un ΔT d'environ 3°C , et le débit minimum correspond à des valeurs de ΔT aux environs de 10°C , pour un fonctionnement à pleine charge) ; des débits de l'eau trop faibles détermineraient, en effet, la création d'un régime laminaire à l'intérieur de l'échangeur, avec une réduction sensible des coefficients d'échange et des débits de l'eau trop forts provoqueraient des vibrations et une érosion des surfaces de l'échangeur.

Il n'y a pas de problèmes si des variations de débit se vérifient de manière suffisamment graduelles (dans les limites imposées par le constructeur) lorsque le groupe refroidisseur est allumé.

La situation la plus critique concerne, au contraire, les cas où cela intervient de façon brusque ; la situation comporterait, en effet, des variations dans le fonctionnement du circuit de refroidissement que le détendeur thermostatique aurait tendance à



Détendeur Thermostatique
Électronique

compenser, mais de manière non instantanée, et qui pourrait mettre à risque les compresseurs.

Une augmentation soudaine du débit de l'eau fera augmenter instantanément l'échange thermique sur l'évaporateur, et dans le transitoire, cela signifie un réchauffement plus important et une augmentation légère de la température d'évaporation ; cette situation ne compromet pas, en général, les compresseurs.

Au contraire, une diminution soudaine du débit de l'eau réduit l'échange à l'évaporateur, en réduisant instantanément l'échauffement qui pourrait s'annuler ; la situation est potentiellement dangereuse pour les compresseurs parce que cela pourrait provoquer des retours de liquide.

Une vanne électronique à la place du détendeur thermostatique mécanique est plus prête à s'adapter pour compenser des troubles sur le débit de l'eau, mais pour être suffisamment précise, elle doit aussi agir avec des temps suffisamment longs, en général quelques dizaines de secondes ; s'il s'agit d'installations qui prévoient des variations de débit sur les refroidisseurs, il est plutôt opportun de la prévoir, mais l'attention n'est pas réellement suffisante pour protéger le module refroidisseur de toute criticité.

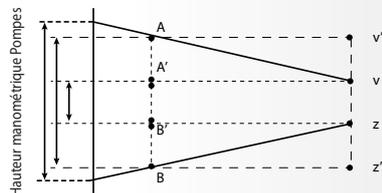
De toute façon, il sera nécessaire de prévoir des attentions ultérieures pour garantir le passage d'un débit de l'eau correcte sur chaque refroidisseur en fonction, pour éviter des alarmes de flux, des pénalisations excessives sur l'échange thermique, ainsi que pour assurer des variations de débit suffisamment graduelles sur les machines.

À ce propos, il serait bien d'utiliser sur l'installation de distribution des organes modulants qui assurent une réduction du débit de l'eau inférieure à 10% par minute de la valeur nominale.

En outre, afin d'éviter de rejoindre des valeurs hors limite du débit qui traverse l'échangeur, il est nécessaire d'installer une branche de by-pass avec une vanne modulante appropriée à proximité immédiate de la centrale thermo-frigorifique.

La complexité majeure du réglage des installations VPF exige de nouvelles logiques de gestion intégrées, souvent mises en œuvre par des fiches supplémentaires appropriées, où la parcellisation des compresseurs est toujours obtenue par un réglage de la température en refoulement, mais des contrôleurs de système appropriés sont capables de coordonner les actions sur les actionneurs du circuit hydraulique (pompes, vannes de by-pass) avec l'action de réglage des processeurs des modules refroidisseurs.

Profil de l'avancement des pressions à la variation des positions des sondes.



Certains schémas d'installation qui prévoient le débit variable sur les refroidisseurs, et une description brève de la logique de leur gestion sont reportés ci-après. Le premier schéma (schéma 2-a) fait référence au cas d'installation à simple anneau à débit variable avec un seul groupe d'eau glacée.

La gestion du système est intégrée dans les fonctions du processeur du groupe d'eau glacée, ou confiée à un contrôleur auxiliaire fourni normalement par le constructeur ; il est capable d'interagir avec le refroidisseur d'eau, le groupe de pompage et une vanne modulante placée sur la branche de by-pass.

Le débit de l'eau envoyé aux utilisateurs est modulé en fonction de l'exigence réelle des terminaux, à travers un réglage de la pompe qui maintient constant le différentiel de pression entre le refoulement et le retour sur deux points choisis de manière appropriée. Le choix le plus approprié de la position des sondes de pression est confié aux considérations du concepteur sur la base des caractéristiques de l'installation en question.

Le groupe d'eau glacée, qui à son tour module la puissance fournie sur la base de la température de refoulement, nécessite, de toute façon, d'un maintien de valeur minimum de débit facilité à travers l'échangeur (normalement de l'ordre de 50% du débit nominal) ; le contrôleur de système effectue donc le monitoring de cette valeur à l'aide d'un second capteur de pression différentielle placé sur les extrémités de l'évaporateur. Une fois rejointe la valeur minimum admissible de débit sur le module refroidisseur, le nombre de tours de la pompe, qui n'est pas ultérieurement réduit, se bloque ; la diminution de débit exigée sur les utilisateurs s'obtient par l'ouverture graduelle d'une vanne à deux voies modulante placée sur la branche de by-pass.

Une logique totalement analogue préside le fonctionnement d'une installation à simple anneau à débit variable avec plusieurs refroidisseurs en parallèle (schéma 2-b).

Sur la base de la variation du débit exigé par les utilisateurs (fonction du degré d'ouverture des vannes à deux voies modulantes et/ou ON-OFF des thermostats locaux), le régulateur interagit avec la pompe à variateur en modulant le nombre de tours et en maintenant le fonctionnement partialisé des deux refroidisseurs, chacun traversé par un débit réduit de l'eau.

Ce fonctionnement favorise aussi bien les économies d'énergie liées au fonctionnement partialisé des refroidisseurs que celles liées à la réduction des frais de pompage à l'intérieur du système de distribution.

Une fois qu'est rejoint le débit minimum admissible sur les modules refroidisseurs, le régulateur intervient pour gérer l'ouverture de la vanne de by-pass et pour éteindre progressivement les modules refroidisseurs, avec, par conséquence, la fermeture de la branche correspondante ; l'extinction et l'interception progressive des modules refroidisseurs permet de moduler le débit total dans le respect du débit minimum sur ceux qui sont restés en fonction.

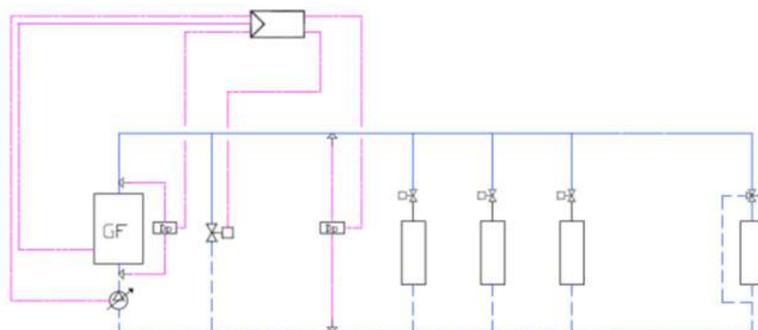


Schéma 2-a : installation à simple anneau à débit variable avec un seul groupe d'eau glacée

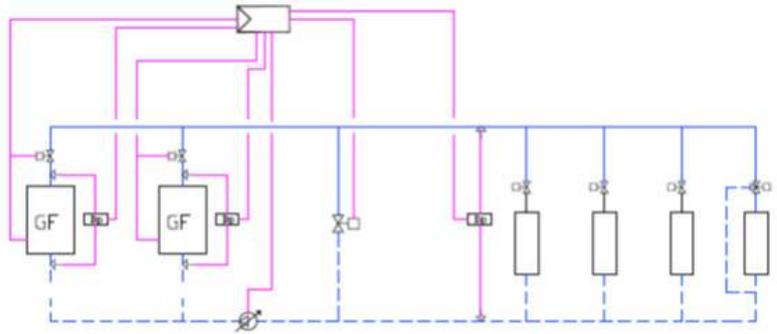


Schéma 2-b : installation à simple anneau à débit variable avec plusieurs refroidisseurs

Ces solutions ont des avantages énergétiques à évaluer, cas par cas, sur la base de l'architecture de l'installation, du type de machine choisie, du profil de charge saisonnière et du profil climatique de la localité où est posée l'installation. Nous irons successivement à analyser un cas d'étude sur une installation hydraulique utilisée pour rafraîchir un immeuble à usage de bureaux, alimentée par un module refroidisseur air-eau avec des compresseurs à vis et un évaporateur multitubulaire.

L'analyse confirme l'intérêt d'une installation VPF par rapport à une solution traditionnelle avec pompe à débit constant sur le circuit primaire et débit variable sur le secondaire.



Exemple d'un local à usage de bureaux



NSM3202X°°E°°°00

Simulation effectuée à l'aide du programme de sélection Magellano, disponible pour le téléchargement à partir de la zone de support du site de Aermec.



Chapitre 2 ANALYSE D'UN CAS D'ÉTUDE

Pour évaluer les potentiels d'économie d'énergie et d'argent d'une solution avec un débit variable au primaire par rapport à des solutions plus traditionnelles, nous prenons en considération la climatisation d'été d'un immeuble à usage de bureaux servie par une installation à deux tubes ; l'installation, alimentée par une centrale thermique appropriée lors de la saison d'hiver, est servie par un groupe d'eau glacée avec des compresseurs à vis et des échangeurs multitubulaires.

Nous reportons, ci-après, les caractéristiques de l'immeuble en question :

localité : Rome

température extérieure en été de projet : 35°C

humidité extérieure relative de projet : 45%

destination : à usage de bureaux

Profil d'activation de l'installation : 5 jours/semaine, de 7 à 19 heures, l'été (mois : mai - septembre)

Superficie utile au sol : 900 mq/étage, 7 étages ; Sup. totale = 6300 m²

Type d'installation : air primaire + ventilo-convecteurs

Charge de refroidissement de crête : 713 kW

Groupe d'eau glacée : AERMEC NSM3202X°°E°°°00, sélectionnée selon les conditions suivantes :

Rafraîchissement

Puissance rendue	kW	740,55
Puissance absorbée	kW	238,58
Courant absorbé	A	389,15
E.E.R.	W/W	3,10
E.S.E.E.R.	W/W	4,07
Température de l'air en entrée à bulbe sec	°C	35,00
Température de l'eau en entrée	°C	12,19
Écart thermique	°C	5,19
Température de l'eau en sortie	°C	7,00
Glycol d'éthylène	%	0
Débit de l'eau	l/h	122 763
Pertes de charge	kPa	23,89

Les données nominales du circuit hydraulique, référées au fonctionnement à pleine charge, sont les suivantes :

Solution 1 (installation traditionnelle) :

Circuit Primaire :

Débit de l'eau mc/h 123,8
 Perte de charge kPa 48

Circuit secondaire :

Débit de l'eau à pleine charge mc/h 123,8
 Perte de charge kPa 154

Solution 2 (installation VPF) :

Débit de l'eau à pleine charge mc/h 123,8
 Perte de charge kPa 194

L'installation de climatisation est du type à air primaire et ventilo-convecteurs ; elle prévoit donc, la présence d'une centrale de traitement d'air pour l'air de renouvellement (air neutre), et le contrôle des conditions de température locale pour le local s'effectue à l'aide de ventilo-convecteurs installés dans chacun des locaux servis.

On reporte un schéma fonctionnel d'installation pour le cas d'installation traditionnelle et pour le cas de solution VPF.

Schéma fonctionnel de l'installation - solution VPF

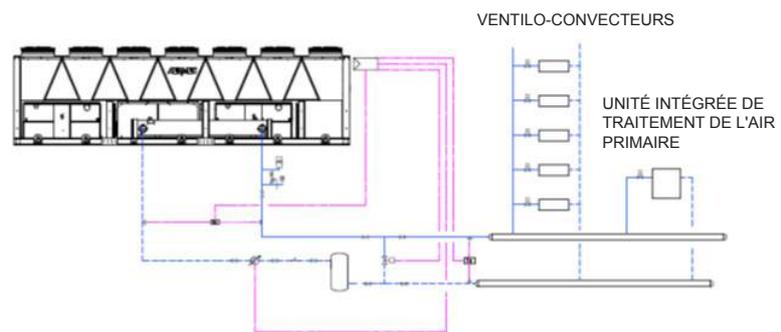
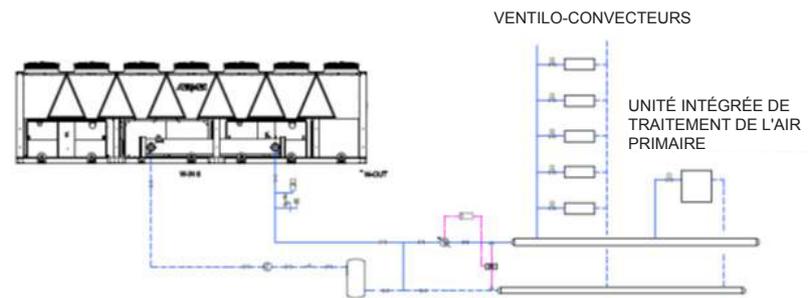
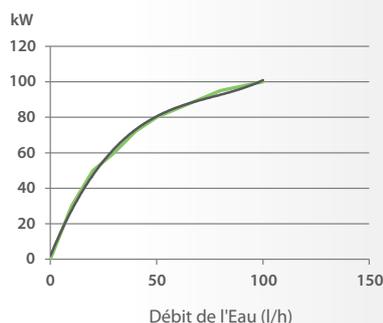


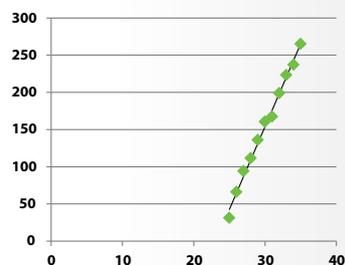
Schéma fonctionnel de l'installation avec un circuit traditionnel à double anneau



AVANCEMENT DÉBIT/PUISSANCE BATTERIE MODULANTE (unité de traitement de l'air)



AVANCEMENT DU DÉBIT/PUISSANCE DE LA BATTERIE ON-OFF (VENTILO- CONVECTEUR)



La modulation de la puissance frigorifique sur la batterie de l'unité de traitement de l'air (avec contrôle de la température en refoulement à point fixe) s'effectue à l'aide de vannes modulantes à deux voies ; le réglage des terminaux en environnement s'effectue à l'aide de cycles de ON-OFF sur la ventilation avec une vanne à deux voies ON - OFF ouverte à la demande du thermostat local.

Le débit de l'eau vers les utilisateurs est maintenu proportionnel à la demande réelle à l'aide d'un réglage à pression différentielle constante entre le collecteur de refoulement et le collecteur de retour qui agit sur la pompe du secondaire, dans le cas de solution traditionnelle et sur le groupe de pompage unique, dans le cas de solution VPF.

Le débit de l'eau envoyé vers les terminaux est à chaque instant moyennement proportionnel à la puissance frigorifique exigée ; contrairement au débit exigé par la batterie de l'unité de traitement de l'air qui suit un parcours non linéaire.

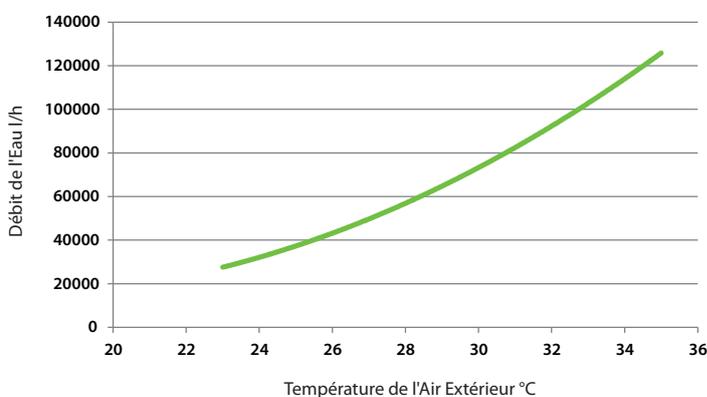
CONSOMMATION D'ÉNERGIE DE L'ÉDIFICE

Le calcul prévisionnel des consommations d'énergie du groupe d'eau glacée référé à l'été a été conduit en considérant la charge rafraîchissante liée à la ventilation (couverte par l'unité de traitement de l'air) et celle liée à la transmission, au rayonnement et aux charges intérieures (couverte par les ventilo-convecteurs) dépendante de la température extérieure.

Pour le calcul des absorptions électriques de l'installation de climatisation d'été, nous utilisons donc le lien suivant entre température extérieure, puissance frigorifique exigée et débit de l'eau envoyé vers les terminaux (unité de traitement de l'air + ventilo-convecteurs) reporté ci-dessous :

Débit de l'Eau Utilisateurs		
T Extérieure °C	P Frigo kW	Q Eau l/h
35	714	122693
34	662	117413
33	623	106227
32	575	92010
31	519	78497
30	488	72715
29	439	63997
28	390	56654
27	349	50823
26	297	44613
25	237	38102
24	182	31254
23	158	27084

DÉBIT DE L'EAU DU CIRCUIT DE L'INSTALLATION



Débit de l'eau moyen du circuit des utilisateurs en fonction de la température extérieure



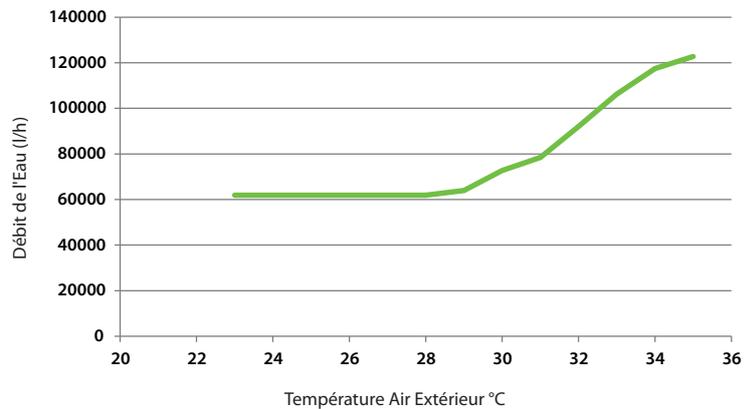
Unité de traitement de l'air : Unité de traitement de l'air de la série NCD utilisée pour effectuer le renouvellement de l'air exigé par la présence de personnes.



FCZ : ventilo-convecteur utilisé pour satisfaire la charge sensible et latente dans les différents bureaux.

Le débit de l'eau envoyé aux utilisateurs, et ainsi déterminé, se réfère au débit circulant sur le circuit secondaire ou, dans le cas de VPF, au débit envoyé aux collecteurs coté utilisateurs ; dans ce dernier cas, par contre, le débit minimum de l'eau élaboré par le groupe d'eau glacée est égal à 50% de la valeur nominale ; le lien entre la température extérieure - charge et débit de l'eau du module refroidisseur- est donc, dans ce cas, celui qui est illustré ci-après :

Débit de l'eau du module refroidisseur (min 50%)		
T Extérieure °C	P Frigo kW	Q Eau l/h
35	714	122693
34	662	117413
33	623	106227
32	575	92010
31	519	78497
30	488	72715
29	439	63997
28	390	61911
27	349	61911
26	297	61911
25	237	61911
24	182	61911
23	158	61911

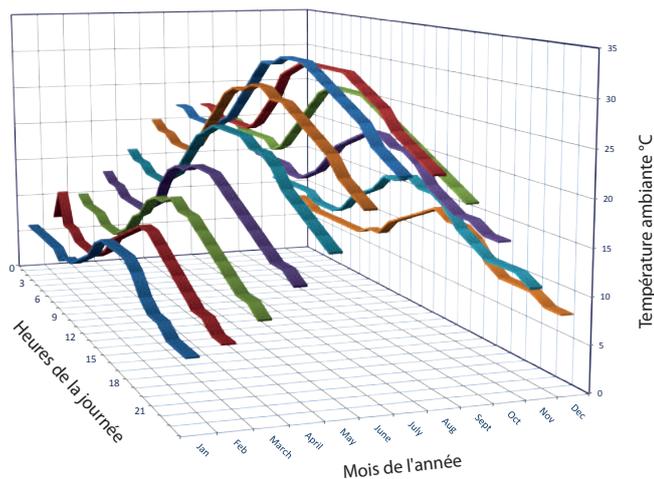


Débit de l'eau moyen de la pompe VPF en fonction de la température extérieure

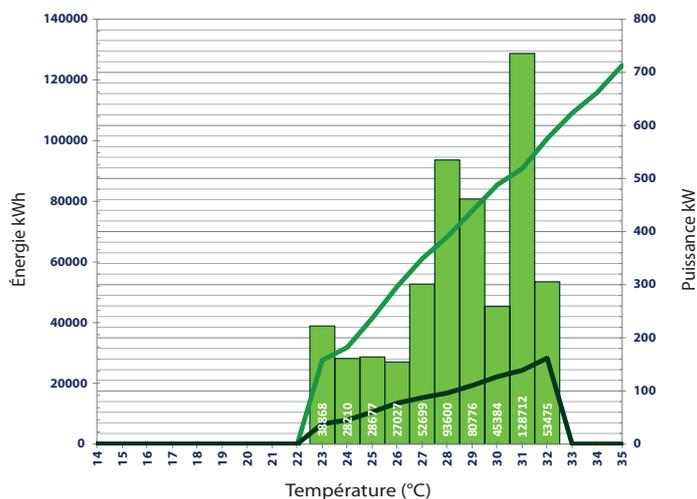
La fréquence d'évènement pour chaque valeur de température, dans l'espace de toute l'année, a été déterminée en faisant référence à la localité (Rome) et aux créneaux horaires d'utilisation réelle de l'installation.

Pour chaque valeur de température, la valeur de puissance absorbée, en utilisant le programme AERMEC ACES, a été calculée en fonction du degré de parcellisation du groupe rafraîchissant. Il est fondamental d'observer que cette valeur ne considère pas les absorptions des groupes de pompage, qui d'ailleurs, sont extérieurs au groupe frigorifique ; ces valeurs ont été calculées à part.

Profil horaire moyen mensuel de la température Localité Rome



Analyse des performances du module refroidisseur : NSM3202E



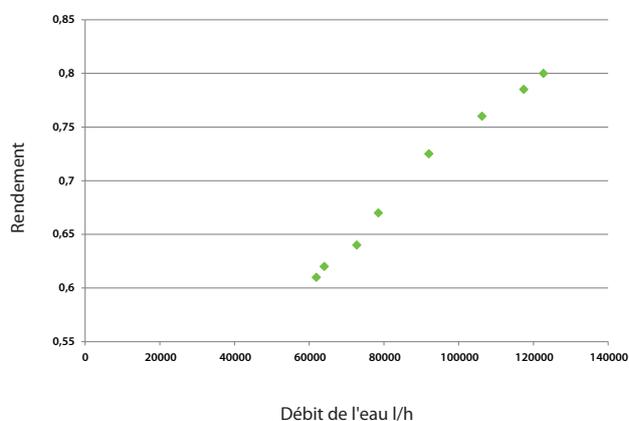
- Énergie Frigorifique kWh
- Puissance Frigorifique kW
- Puissance Absorbée kW

Le programme ACES est un instrument mis au point par AERMEC pour calculer les consommations et l'efficacité des groupes d'eau glacée au niveau saisonnier (aussi bien sur un seul groupe d'eau glacée que sur les groupes d'eau glacée en parallèle). Il est utilisé pour des analyses énergétiques évoluées, il est donc, possible d'optimiser le choix des modules refroidisseurs et la stratégie de gestion des groupes d'eau glacée en parallèle, pour obtenir la plus haute efficacité énergétique de système.

La même attention est dédiée au calcul des frais de pompage, étant donné que se jouent, sur cet aspect, les avantages énergétiques et économiques entre une solution traditionnelle et un VPF.

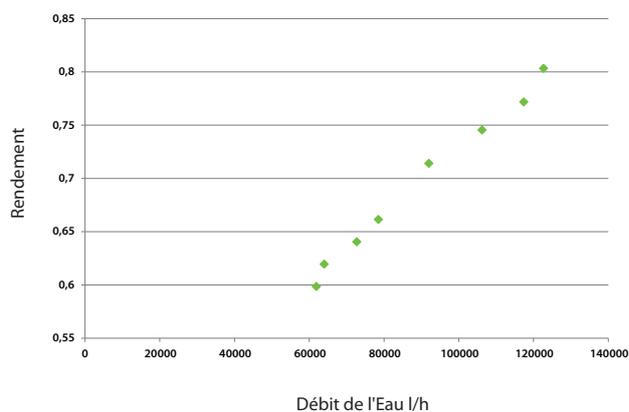
Le calcul de la puissance consommée par les groupes de pompage aux différentes conditions de débit/hauteur manométrique tient compte de la décadence du rendement selon la variation du point de travail (aussi bien pour la pompe au service du circuit secondaire de l'installation traditionnelle, que pour la pompe unique dans l'installation VPF).

Rendement de la Pompe du Circuit Secondaire Installation Traditionnelle



Pompe Inverter

Rendement de la Pompe Unique Installation VPF

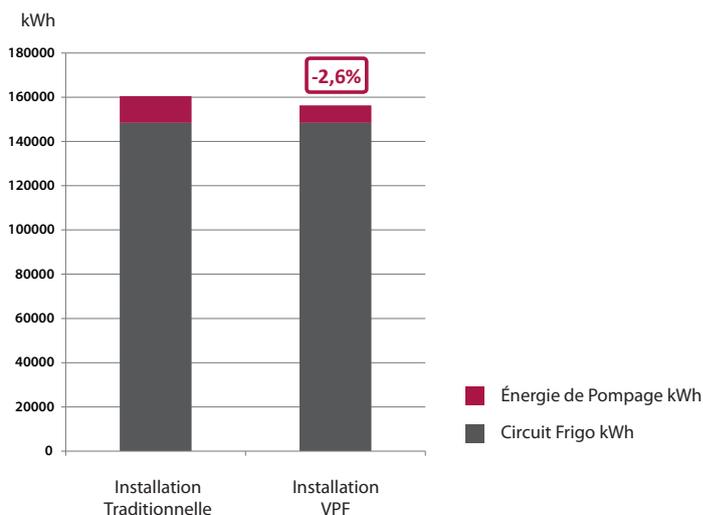
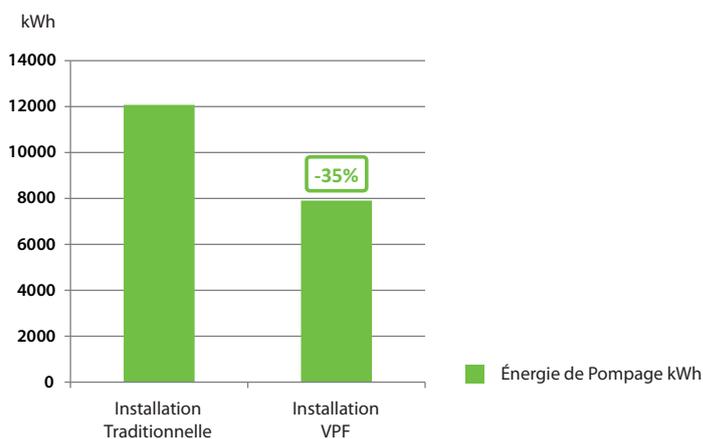


- (1) Le coût majeur de la solution VPF tient compte des composants suivants : 2 mesureurs de débit sur les échangeurs, by-pass avec vanne modulante, régulateur supplémentaire pour le système VPF
- (2) Coût d'énergie électrique 0,18 € / kWh
- (3) Taux d'intérêt annuel 4%, taux d'inflation 2%, durée de vie réelle de l'installation 15 ans

Les résultats du calcul référés aussi bien aux seuls frais de pompage qu'à l'absorption d'énergie totale (module refroidisseur + groupes de pompage) et le résultat de la comparaison entre les deux installations sont reportés ci-après.

		Installation traditionnelle	Installation VPF
Absorption des pompes	(kWh)	12070	7907
Absorption du groupe d'eau glacée	(kWh)	148335	148335
Absorption totale	(kWh)	160405	156262
Coût majeur VPF / installation traditionnelle	(€) (1)		1500
Économie sur les coûts d'énergie VPF / installation traditionnelle	(€/année) (2)		749
Période de récupération de l'investissement	(année)		2 ans
VAN différentiel VPF / installation traditionnelle	(€) (3)		7963

COMPARAISON DES FRAIS DE POMPAGE ENTRE INSTALLATION TRADITIONNELLE ET UNE INSTALLATION VPF



Chapitre 3 CONCLUSIONS

Les économies d'énergie sur le pompage ne sont pas négligeables entre les deux cas ; en ce qui concerne le pourcentage sur le total des consommations, les valeurs ne sont pas énormes, comme l'on pouvait s'y attendre en considérant que l'incidence des frais de pompage du seul circuit primaire ne représente certainement pas la première donnée de consommation.

Dans tous les cas, il s'agit d'une mesure d'efficacité énergétique relativement à bas coût, en considérant que les coûts les plus hauts des composants prévus pour l'installation VPF (contrôleur, vanne modulante sur le by-pass, mesureurs de débit de l'eau sur les séparateurs) ont des proportions non considérables pour des installations de puissance moyenne-haute.

Cette mesure a donc des temps de retour des dépenses plutôt brefs (environ 3 ans en général), et un investissement avec une valeur actuelle nette positive non négligeable dans l'espace de durée de vie réelle de l'installation ; le choix convient donc, non seulement du point de vue environnemental.



Aermec S.p.A. via Roma 996 - 37040 Bevilacqua (VR) Italie
Tél. : +39 0442 633111 Fax : +39 0442 93577
marketing@aermec.com
www.aermec.com