

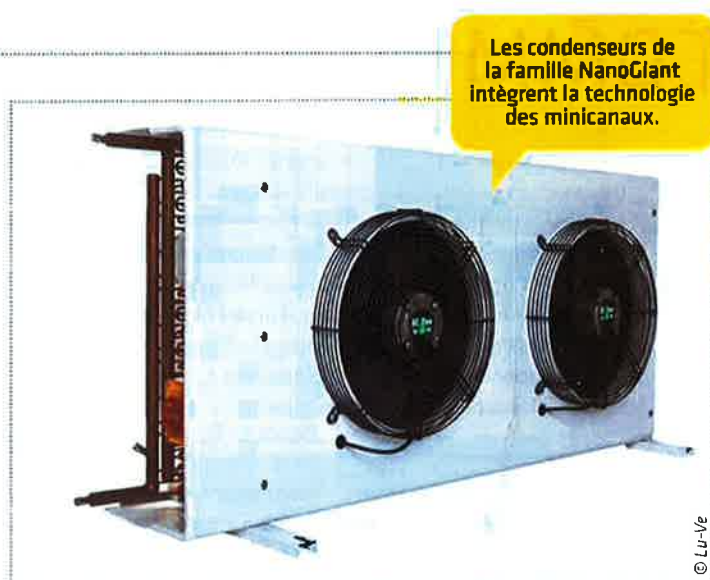
MINICHANNEL: DU DÉVELOPPEMENT VIRTUEL À LA VALIDATION PAR L'EXPÉRIENCE

TECHNOLOGIE La famille des condenseurs NanoGiant de Lu-Ve repose sur la technologie Minichannel⁽¹⁾ spécifiquement adaptée à la réfrigération et à la climatisation. Elle répond aux contraintes de l'échange thermique à haute efficacité et à faible charge. Explications.

STEFANO FILIPINI,
DIRECTEUR TECHNIQUE,
ET JEAN-MICHEL DEGOULET,
DIRECTEUR GÉNÉRAL FRANCE,
LU-VE GROUP.

Les contraintes environnementales du domaine de la réfrigération et de la climatisation ont, dans un premier temps, porté sur les fluides au regard de la couche d'ozone et, dans un deuxième temps, sur la réduction de l'effet de serre, suivant l'approche du TEWI (combinaisons des émissions directes et indirectes). De plus, dans certains pays sont apparues des taxes et des limitations des charges de fluide frigorigène. Il est donc nécessaire de trouver une solution, et le développement du condenseur et de la technologie des microcanaux, issue de l'industrie automobile, en est la première tentative.

Afin d'apporter une réponse spécifique et adaptée à notre secteur d'activité de la réfrigération et de la climatisation, Lu-Ve a mené ces dernières années des recherches dans différentes directions, cherchant



rapport de surface interne > 1,8 répondent aux exigences d'efficacité puissances/volume.

Expérimentation et calibrage du logiciel

Les essais de puissance thermique ont nécessité une importante activité expérimentale. En effet, de nombreux essais ont été réalisés en chambre calorimétrique pour définir les performances dans les conditions de fonctionnement les plus variées (ex. à différentes vitesses d'air frontales, vitesse de masse du fluide interne, température de condensation de l'air en entrée de batterie d'échange). Tous ces essais ont servi à calibrer le code de calcul, afin de pouvoir à l'avenir estimer avec aussi peu d'incertitude que possible les performances de chaque modèle d'aérocondenseur de géométrie Minichannel, dans les conditions de fonctionnement les plus variées.

à analyser toutes les alternatives. Finalement, une nouvelle géométrie de batterie, issue de la technologie cuivre/aluminium a été développée.

Nouvelle géométrie

Pour satisfaire la contrainte de l'échange thermique à haute

efficacité et à faible charge, Lu-Ve a développé la nouvelle géométrie Minichannel (voir figure 1). Elle est très compacte et atteint une haute densité de puissance sur surface ailetée. Les ailettes à effet de turbulences combinées aux tubes à rainures internes induisant un

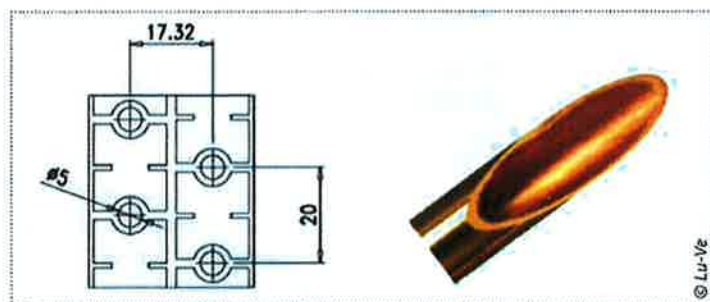


Figure 1 - Géométrie échangeur Minichannel.

(1) Marque déposée par Lu-Ve.

Échangeurs à tube optimisé

La collaboration toujours très étroite avec les fabricants de tubes microailetés nous a amenés à définir une typologie de tubes très performants pour les condenseurs à air. Les essais de performance du tube seul ont été réalisés directement par le fournisseur, qui a donné toutes les



Figure 2 - Simulation CFD de l'écoulement de l'air.

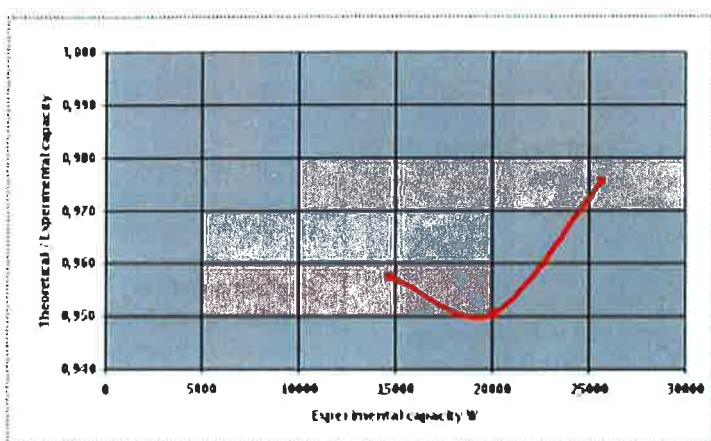


Figure 3 - Écart entre puissance mesurée et calculée.

informations d'échange thermique et de pertes de charges à différentes valeurs du nombre de Reynolds et Prandtl. Ces caractéristiques ont été incrémentées dans le code de calcul, lequel, avec toutes les informations relatives à l'échange thermique externe, le débit d'air, les dimensions de l'échangeur et les températures de fonctionnement, nous a

permis de définir la puissance thermique échangée dans les conditions du test. Les erreurs entre donnée expérimentale et donnée de calcul sont indiquées dans le graphique. Comme on s'en doute, les écarts sont vraiment très faibles.

La même comparaison a été faite sur les pertes de charge interne (fluide frigorigène de test R 407A) ; le

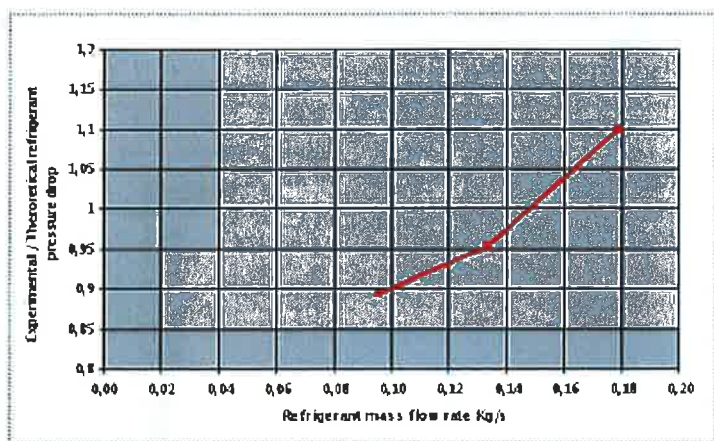


Figure 4 - Écart des pertes de charge internes entre mesure et calcul.

graphique montre les erreurs entre donnée expérimentale et donnée de calcul.

La valeur des pertes de charge tient compte des collecteurs d'entrée et de sortie, afin de calibrer aussi ces composants, essentiels pour la définition de l'appareil lui-même.

La masse de données expérimentales a permis de calibrer au mieux le

code de calcul. Cet instrument précieux, utilisé en bureau d'études et au service commercial, est le cœur stratégique de l'entreprise, car il recueille toute l'expérience thermodynamique du groupe Lu-Ve. Évaluer les performances de nos appareils dans des valeurs de 3 % (puissance thermique) nous permet d'offrir à nos clients des performances extrêmement précises et adaptées à leur besoin.

C'est aussi un outil extraordinaire pour le développement de nouveaux produits par le bureau d'études Lu-Ve, permettant les prédictions les plus fiables.

Comparaison des échangeurs de chaleur

Du fait de sa construction mécanique, le concept de microcanaux à configuration à flux parallèle doit avoir des collecteurs plutôt ●●●

L'apport du logiciel CFD

Un logiciel CFD (computational fluid dynamics)* est très utile en matière d'échange de chaleur (2). L'approche suivie par Lu-Ve, décrite dans ce document, se base sur une utilisation massive de simulations numériques pour découvrir les détails du mouvement des fluides afin de mieux comprendre (en se basant sur les principes de dynamique des fluides) leur performance calorifique et des pertes de pression. L'utilisation de la CFD est combinée à une approche expérimentale globale.

Il a été examiné plus de 30 configurations différentes d'ailettes. Une série de calculs en 2D, combinée aux expériences en tunnel d'essai, a été effectuée à différentes vitesses d'air et différents pas d'ailettes, afin de comparer pour chaque configuration les tendances numériques et expérimentales. Ceci a fourni de précieuses informations pour calibrer les instruments de calcul, sur l'influence de la forme de l'ailette et sur les performances de transfert de chaleur. (*) En français : mécanique des fluides numériques.

●●● grands, au moins suffisants pour permettre au profilé aluminium d'entrer dans le collecteur lui-même.

Selon nos recherches, le profilé aluminium de 30 mm de profondeur semblerait être un bon compromis pour obtenir du condenseur une performance correcte. Il est donc nécessaire d'avoir un collecteur avec un diamètre minimum de 38 mm. C'est l'une des raisons pour lesquelles la technologie microcanaux a un volume interne plus important que nécessaire et que la charge de fluide frigorigène principale se trouve dans les collecteurs.

La figure 5 montre la configuration des microcanaux, où la définition du pas d'ailettes est différente de celle normalement utilisée pour une batterie ailetée. En effet, la définition géométrique tend à considérer le pas d'ailettes comme la distance entre deux éléments répétitifs : dans notre exemple, les 2 « ondes » (ex. : pas d'ailettes = 2,6 mm). En réalité, la distance effective entre les deux ailettes est la moitié (1,3 mm sur la photo), une valeur beaucoup plus faible que celle utilisée actuellement par le marché pour un condenseur à air (c'est-à-dire entre 2 et 2,5 mm).

Condenseurs	SHVN 19/0	Minichannel 5 mm	Microcanaux
Puissance kW	19,6	20,2	19,5
Diamètre tube mm	9,52	5	microcanaux 30 x 2
Volume tubes dm ³	5,15	2,04	1,9
Volume collecteurs mm	0,36	0,36	0,91
Volume interne total échangeur	5,51	2,41	2,81
Diamètre collecteur mm	22	22	38
Écart %	1	0,436	0,509
Écart %		1	1,167

Comparaison du volume interne

Le tableau ci-dessus compare 3 possibilités de condenseurs à air, avec des puissances similaires : même surface frontale et même nombre de ventilateurs (2 x diam. 350 mm 4 pôles).

Pour mieux souligner « l'évolution » du volume interne dans les 3 configurations, on indique séparément le volume interne des tubes (ou profils extrudés pour les microcanaux) et des collecteurs. Le résultat de cette comparaison montre clairement que, en utilisant la technologie la plus moderne, il est possible de réduire fortement la charge de réfrigérant. En plus, grâce au plus petit diamètre des collecteurs, on a un avantage pour la nouvelle technologie Minichannel par rapport aux

microcanaux (16,7 % de réduction supplémentaire dans ce cas).

Encrassement des ailettes à profil spécialisé

L'encrassement des condenseurs est un facteur important pour le rendement du cycle en réfrigération. De récentes études internationales montrent que le dépôt de « poussière (diam 0,01 à 100 µm) » est assez indépendant du pas d'ailettes : c'est le débit d'air et donc la vitesse qui sont prépondérants dans le poids des particules déposées. À vitesse constante de 2 m/s, la variation de dépôts de poussière sur des échangeurs de pas de 1,6 mm, 2,1 mm et 3,2 mm est similaire à +/- 5 %.

À l'inverse, plus forte est la vitesse, plus important est le dépôt de particules (en particulier celles de taille de 1 à 50 µm).

D'autres études, réalisées suivant des méthodes expérimentales et analytiques sophistiquées utilisant des poudres standard Ashrae, démontrent que l'encrassement d'un échangeur à microcanal, avec un écartement de 1,3 mm avec 135 g de poussière, présente la même baisse de performances en termes de coefficient d'échange thermique et pertes de charge, par rapport à un échangeur traditionnel, à pas 2 mm avec 400 g de poudre. Cette baisse de performances est essentiellement liée à la variation importante du débit d'air due aux pertes de charge, causées par l'encrassement.

La solution à microcanaux engendre donc une baisse des performances beaucoup plus forte, et par conséquent une augmentation (facteur 3) des interventions de maintenance (400/135).

L'utilisation de la variation de vitesse de l'ensemble des ventilateurs sur un échangeur est un facteur très important sur le rendement de l'échange. En effet, la vitesse moyenne de l'air est très largement inférieure dans le temps, et génère moins d'encrassement, comparée aux régulations par étages qui fonctionnent à vitesse maxi par étage.

Protection des échangeurs par Nanocoating

Lu-ve a développé avec certains constructeurs un nouveau revêtement des ailettes, issu des nanotechnologies. Cette protection consiste à rendre l'ailette antistatique afin de repousser les poussières. Ce Nanocoating évite les pertes de puissance liées à l'encrassement et constitue une bonne prévention à la corrosion. Ce traitement est particulièrement adapté aux surfaces sèches des condenseurs, et représente une option de la nouvelle gamme de condenseurs LMC de la famille NanoGiant.

Conclusion

La technologie des Minichannel répond aux exigences de la diversité des installations en réfrigération. La technologie des tubes cuivre et aluminium est une solution éprouvée et fiable, et les réponses aux problèmes de corrosion sont connues. La multitude de possibilités de réponses aux puissances par la variation du nombre de rangs et des écartements d'ailettes offre une très vaste gamme de réponses aux besoins des installateurs. Le volume interne des condenseurs équipés de la technologie des Minichannel est très faible : c'est une des réponses économiques aux futures contraintes des taxes sur les fluides. ●

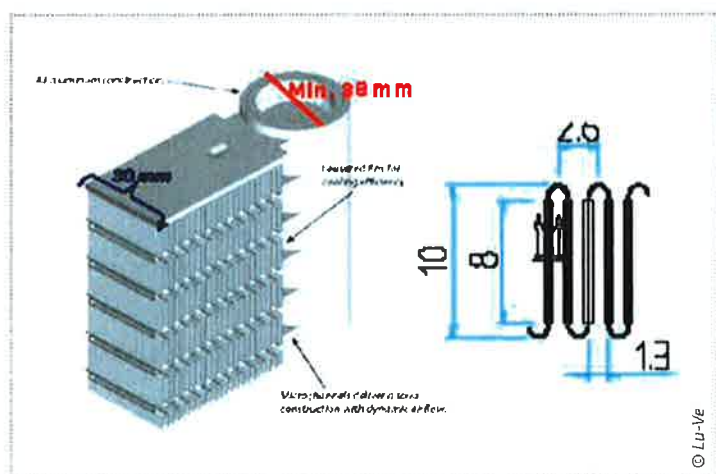


Figure 5 - Configuration des microcanaux.