



www.guentner.eu

Technical article from
03.04.2017

Author



Dr. Andreas Zürner
Research
Güntner GmbH & Co. KG

Güntner GmbH & Co. KG
Hans-Güntner-Straße 2 – 6
82256 FÜRSTENFELDBRUCK
GERMANY

Member of Güntner Group



Application des simulations de flux numériques (MFN) pour l'optimisation des échangeurs de chaleur

Chez Güntner, nous utilisons avec succès les simulations de flux numériques depuis déjà plusieurs années pour répondre aux questions les plus diverses. L'article qui suit présente brièvement la méthode et expose, à partir de quelques exemples, dans quelle mesure elle permet d'obtenir des informations et des résultats, choses impossibles par les méthodes de mesure standard, ou très difficiles à réaliser.

Le nombre croissant de publications sur le thème de la mécanique des fluides numérique (MFN) dans le domaine des échangeurs de chaleur à ailettes refroidis par air est sans nul doute révélateur du fait que la MFN est en passe de devenir un outil incontournable pour le développement de nouveaux équipements. La plupart des travaux dans ce domaine sont issus encore du milieu universitaire. Il s'agit essentiellement de projets sur plusieurs mois, voire sur plusieurs années, qui étudient en détails un cas d'application concret afin de répondre de manière complète aux questions fondamentales qui se posent.

Pourtant, le développement rapide que connaît la fabrication des puces électroniques permet désormais d'avoir également recours à la MFN de manière efficace et économique pour résoudre des problèmes simples. C'est ainsi qu'il est à présent tout à fait possible avec un PC de bureau lambda d'effectuer des simulations de flux numériques de très bonne qualité et dans un temps acceptable. En cas de nécessité de traiter des projets plus importants ayant besoin d'une puissance de calcul plus élevée, le « cloud computing » permet de louer les ressources sur Internet à des coûts intéressants.

MFN : de quoi s'agit-il ?

Pour simplifier, disons que la mécanique des fluides numérique vise à décrire les déplacements des fluides en ayant recours à des moyens informatiques. La mécanique des fluides repose en grande partie sur les équations de Navier-Stokes et leurs variantes. En règle générale, ces équations différentielles partielles ne permettent de résoudre analytiquement que très peu de problèmes bien spécifiques.

Cela signifie que, pour la résolution de problèmes concrets, précisément ceux auxquels nous sommes confrontés tous les jours, il faut quasiment dans tous les cas avoir recours à des méthodes itératives. De par leur nature, ces méthodes ne peuvent cependant donner « que » des solutions approchées. Par rapport à une solution analy-

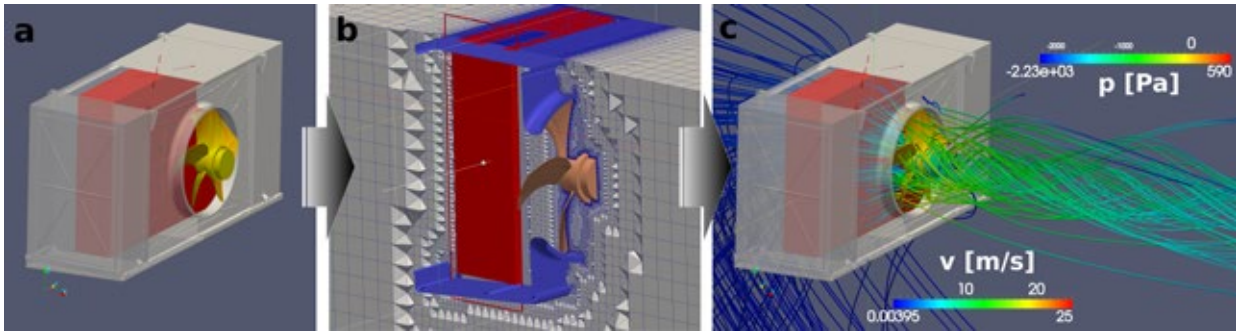


Figure 1:

- a Dessin réalisé en CAO pour étudier un problème donné (écoulement d'air à travers un refroidisseur dans une chambre froide).
- b Coupe à travers le domaine de calcul mis en réseau pour visualiser chacune des cellules.
- c Exemple d'analyse des résultats calculés de façon itérative. Les lignes de flux montrent la trajectoire de particules imaginaires.

tique exacte, il faut toutefois comprendre que les écarts sont ici en règle générale de plusieurs ordres de grandeur inférieurs à ce qu'ils seraient dans le cas normal. Les méthodes itératives nécessitant une énorme puissance de calcul, il est habituellement fait appel à l'informatique pour effectuer ces tâches.

Basic approach

Tout d'abord, pour une question donnée un dessin est élaboré (la plupart du temps en 3D) au moyen d'un programme de CAO. La **figure 1a** montre l'exemple d'un refroidisseur dans une chambre froide. L'ensemble du domaine concerné, constitué dans notre exemple d'une chambre froide, d'un échangeur de chaleur, d'un caisson et d'un ventilateur, est subdivisé en nombreuses petites cellules individuelles (**figure 1b**). Cette étape dite de « mise en réseau » permet de définir sur quels points le logiciel calcule chacune des variables de simulation (pression, vitesse, température, etc.). La mise en réseau participe ainsi de façon déterminante à la précision des résultats de simulation et doit être adaptée en fonction du problème à résoudre. C'est une tâche qui n'est toujours pas

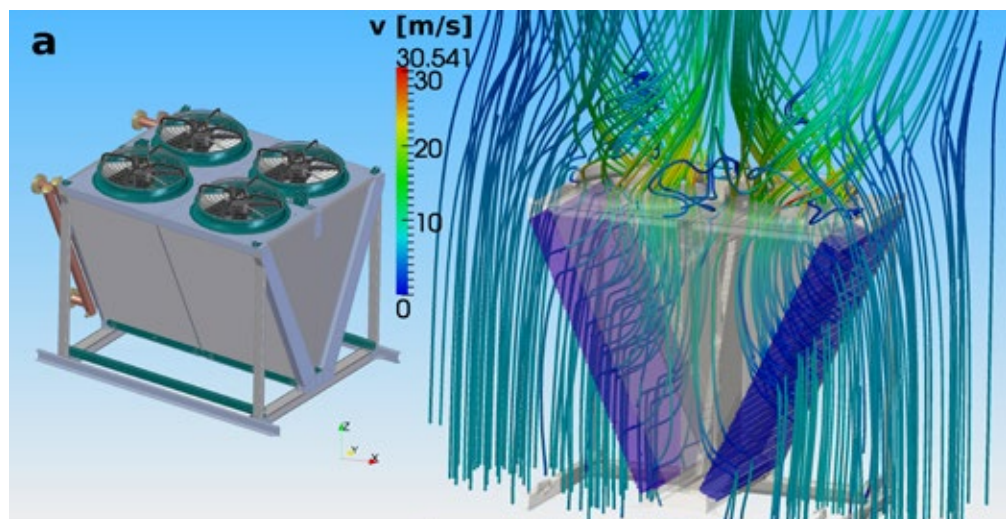


Figure 2:

Exemples d'utilisation de simulations MFN dans le développement de nouveaux produits :

a Bien avant la construction des premiers prototypes, il a été possible d'étudier les écoulements d'air avec précision autour et à l'intérieur des nouvelles versions des caissons du GFD et du GVD. La position des buses d'aspersion du nouveau système HydroSpray a notamment pu être optimisée sur la base des résultats de simulation.

b De même, le caisson de la nouvelle série « FLAT » a été étudié du point de vue de l'écoulement des fluides, et optimisé surtout en ce qui concerne l'espace entre tôle de ventilateur et batterie d'échangeurs de chaleur.

entièrement automatisée et qui exige donc de la part de l'utilisateur une certaine expérience de la mécanique des fluides numérique. À la suite de la mise en réseau, d'autres paramètres importants pour la simulation sont fixés, tels que par exemple la définition des interfaces, la sélection du solveur et du modèle de turbulence, ainsi que les caractéristiques propres aux fluides.

Les points considérés sont regroupés en général sous la désignation « pré-processing », en quelque sorte un pré-traitement. Pour cela, nous utilisons la station de travail MFN interne à la société. La simulation proprement dite, c'est-à-dire la résolution itérative des systèmes d'équations, est effectuée par « cloud computing » au moyen de serveurs loués sur Internet. Cette solution extrêmement flexible nous permet de ne pas être limités dans nos capacités de calcul et de stockage de données. Elle réduit aussi nos coûts d'exploitation à un minimum. Une fois la simulation terminée, les résultats sont rapatriés sur les serveurs de l'entreprise et c'est là qu'ils sont exploités (en phase dite de « post-processing »). La **figure 1c** montre un exemple de résultat d'une telle analyse, dans laquelle le courant est rendu visible à l'aide de lignes de flux.

La validation des résultats de simulation s'effectue dans la mesure du possible sur la base de données de mesures existantes. De plus, la convergence de certains paramètres (pour la plupart de pression ou de température), l'indépendance des résultats vis-à-vis du degré de discrétisation et les résidus de chacune des étapes d'itération sont des éléments déterminants pour l'assurance-qualité.

Possibilités d'utilisation de la MFN

Le domaine d'application des simulations par MFN est extrêmement vaste, notamment dans le domaine du froid et de la climatisation. Il faut sans aucun doute mentionner en premier lieu le développement de nouveaux produits. Dès à présent, les problèmes critiques spécifiques qui se posent pour les produits sont étudiés chez Güntner par MFN, sans qu'il faille pour cela plier la moindre tôle ni percer le moindre trou. C'est ainsi, par exemple, que la position des buses de vaporisation du nouveau système HydroSpray a été optimisée d'après des résultats faits en simulation (voir **figure 2a**). Citons également les caissons des nouveaux appareils de la série « FLAT » qui ont pu être optimisés du point de vue de l'écoulement des fluides en intervenant sur l'espace entre tôle de ventilateur et batterie d'échangeurs de chaleur, sans avoir à effectuer de coûteuses séries de mesures sur des prototypes (voir **figure 2b**).

La MFN permet également d'analyser de façon ciblée des produits déjà commercialisés. Y a-t-il des possibilités d'amélioration à certains endroits ? Comment l'appareil se comporte-t-il dans certains cas d'intégration ou dans certaines conditions particulières ? La **figure 3** montre, à titre d'exemple, l'écoulement calculé numériquement à l'intérieur d'un évaporateur (GHN080.2), fixé à différentes distances de la paroi du plafond. Il a pu être montré

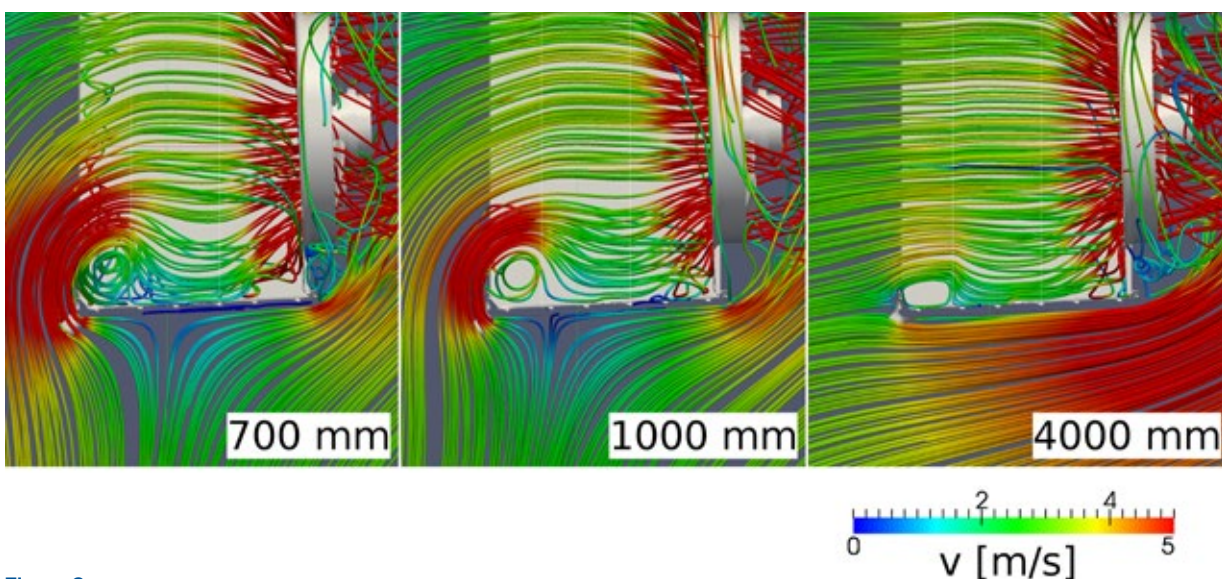


Figure 3:

Écoulement calculé numériquement à l'intérieur d'un GHN080.2 pour différentes distances de paroi :

À mesure que la distance par rapport à la paroi diminue, le tourbillon d'air augmente devant l'échangeur de chaleur. Surtout dans le cas de distances très faibles (700 mm, figure de gauche), ce tourbillon perturbe l'écoulement dans l'échangeur de chaleur et peut conduire à une nette pénalisation des performances, surtout en évaporation directe.

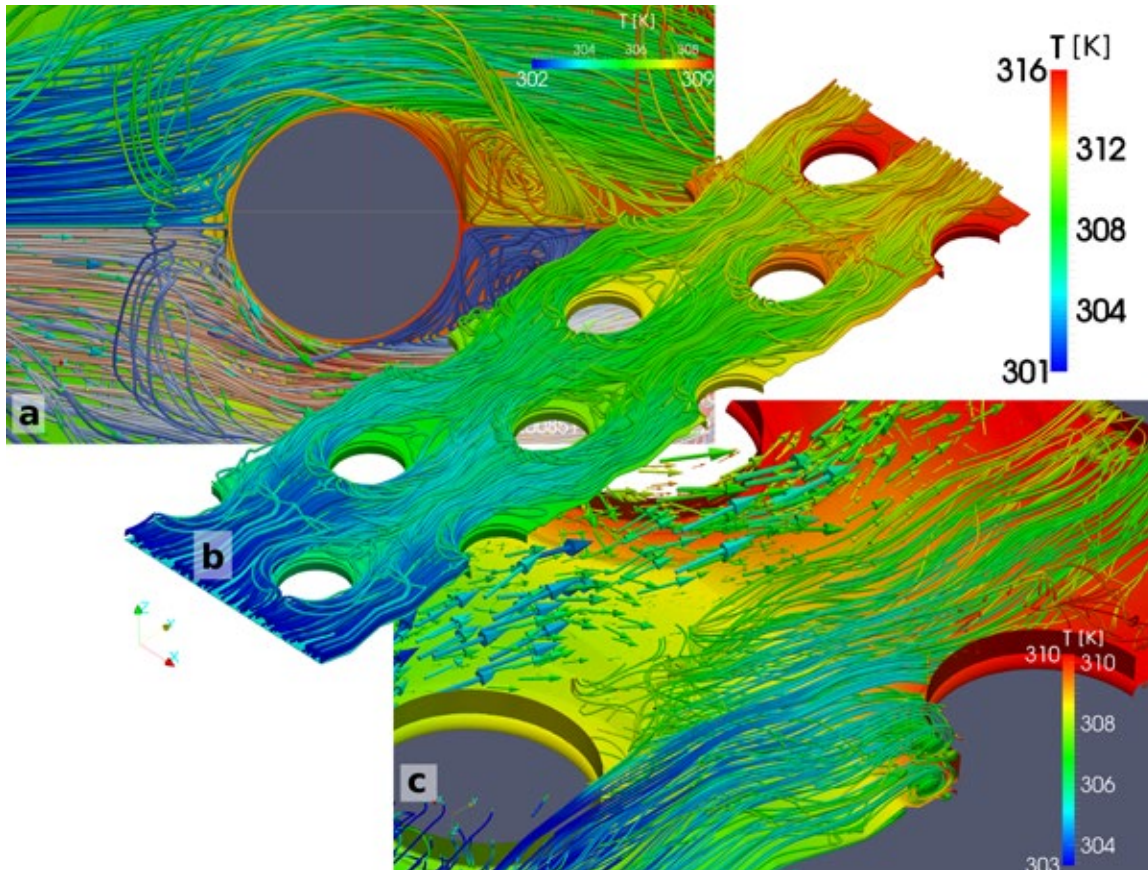


Figure 4:

Calcul de l'échange de chaleur et de la perte de charge dans le cas d'échangeurs de chaleur à ailettes :

En raison des propriétés de symétrie des ailettes, il suffit d'effectuer la simulation d'une petite section (b) pour obtenir des informations détaillées sur l'écoulement, la perte de charge (non représentée sur l'illustration) et la répartition des températures dans l'échangeur de chaleur (a, c).

qu'une trop grande proximité par rapport à la paroi pouvait conduire à des pertes de performances importantes, notamment en évaporation directe. Cet exemple a permis de constater une fois de plus que, comparativement à d'autres méthodes, les simulations numériques permettaient d'analyser une multitude de variantes différentes de façon plus économique et plus rapide.

Pour finir, les simulations MFN permettent de recueillir des informations extrêmement précieuses sur des questions capitales telles que, par exemple, celles qui portent sur l'écoulement, la perte de charge et la répartition des températures au sein des échangeurs de chaleur à ailettes (voir **figure 4**). À cet égard, il faut notamment souligner la possibilité d'analyser des domaines et/ou des grandeurs physiques qu'il n'est possible d'analyser qu'à grands frais au moyen d'instruments de mesures. Il en est ainsi, par exemple, des écoulements d'air et des tubes centraux (**figures 4a, c**) ou encore des températures et pressions locales. Par ailleurs, la détermination régulière de la perte de charge côté air et de l'échange de chaleur à partir de simulations de flux numériques est à présent devenue suffisamment précise pour, au moins en première approche, pouvoir remplacer des mesures réelles. Pour un grand nombre de variantes d'ailettes, il est ainsi possible d'évaluer les projets les plus prometteurs pour des coûts et des délais optimisés, sans avoir besoin de réaliser et de mesurer un prototype pour chaque variante.

References

- [1] Hwang S.W., CFD analysis of fin tube heat exchanger with a pair of delta winglet vortex generators, Journal of Mechanical Science and Technology 26 (9) 2949~2958
- [2] Singh, V., DEVELOPMENT OF AN ADVANCED HEAT EXCHANGER MODEL FOR STEADY STATE AND FROSTING CONDITIONS, Dissertation, University of Maryland, 2009
- [3] Suga K., Numerical study on heat transfer and pressure drop in multilouvered fins, Journal of Enhanced Heat Transfer 2 (3) 231~238
- [4] Singh V., Simulation of air-to-refrigerant fin-and-tube heat exchanger with CFD-based air propagation, International Journal of

Refrigeration 34 (8) 1883~1897

[5] Sun L., Evaluation of elliptical finned-tube heat exchanger performance using CFD and response surface methodology, International Journal of Thermal Sciences 75 45~53

[6] Perrotin T., Thermal-hydraulic CFD study in louvered fin-and-flat-tube heat exchangers, International Journal of Refrigeration 27 (4) 422~432

Summary

Au plan scientifique, la simulation des flux numérique (MFN) est établie depuis longtemps, y compris dans le domaine des échangeurs de chaleur à air et à ailettes. Les ordinateurs de plus en plus puissants permettent aux petites et moyennes entreprises de ce secteur d'effectuer des analyses MFN internes d'une manière économique. Pour les grands projets, il est également possible de recourir à la location de capacités de calcul à des conditions économiques relativement avantageuses.

Cet article a pour but de donner un bref aperçu sur les domaines d'activités de Güntner qui connaissent dès à présent la mise en pratique de cet outil avec succès. C'est ainsi que dès le stade du développement d'un nouveau produit, l'écoulement de l'air en entrée et en sortie de l'appareil peut désormais être étudié avec plus de précision. Par ailleurs, les constatations effectuées grâce aux simulations de flux numériques sont d'une grande utilité lorsqu'il s'agit d'améliorer les produits existants ou d'étudier des cas d'application concrets avec davantage de précision. Lorsqu'il s'agit de questions fondamentales à résoudre, les simulations MFN permettent aussi de recueillir des informations extrêmement précieuses. Il est possible, par exemple, de calculer avec suffisamment de précision les échanges de chaleur et les pertes de charge des échangeurs de chaleur à ailettes, et de visualiser les fortes turbulences ainsi que les reflux.

Bien entendu, la société Güntner n'a pas pour objectif de développer de nouveaux solveurs ou modèles de turbulence pour la simulation de flux numérique d'échangeurs de chaleur, ni de simuler un refroidisseur jusque dans les moindres détails. Il s'agit plutôt pour elle de mettre en œuvre efficacement les outils déjà existants, là où cela présente un intérêt et lorsque la réalisation de mesures reviendrait trop cher. Pour cela, les données mesurées constituent toujours la base sur laquelle la simulation doit d'abord être validée avant de pouvoir entreprendre d'autres calculs sur le problème effectivement posé.