



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijrefrig

Editorial



Peter W. Egolf



Alexander M. Tishin



Hein Auracher

In 2003, the IIR Working Party on Magnetic Refrigeration was established, and in September 2005 the First International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, THERMAG I, was organized in Montreux, Switzerland. After this conference a first Special Issue of the *International Journal of Refrigeration* (IJR) was published describing the state-of-the-art at that early time (see Egolf and Auracher, IJR, 2006, 29/8). In the meantime, the IJR has constantly published conference reports and scientific-technical articles on magnetic refrigeration at room temperature. Now, after the Fifth THERMAG Conference, THERMAG V, held in Grenoble, it seemed appropriate to produce a second Special Issue, highlighting further developments on the field. The articles in this Special Issue are updated articles of the conference proceedings, which after a first review for the proceedings have now went through a second peer review process of the Journal, performed mainly by members of the Working Party on Magnetic Refrigeration. On this occasion, we would like to thank all the scientists involved in this time-consuming work and appreciate the good reviews that have been delivered.

For the first time, the Editorial Board of the IJR has accepted to publish pure articles on magnetocaloric material developments and research. Usually, the average reader of this Journal has good knowledge of the conventional gaseous refrigerants, but is rather confused by the description and the physical characterization of substances which are found in completely other regions of the periodic table, namely in regions of solids (metals and rare earth materials). On the other hand, magnetocaloric materials constitute the solid

Le Groupe de travail sur le froid magnétique de l'IIF a été fondé en 2003, et en septembre 2005, la 1ère Conférence internationale sur le froid magnétique à température ambiante, THERMAG I, a eu lieu à Montreux (Suisse). Après cette conférence, un numéro spécial de la Revue Internationale du Froid (RIF) a été publié. Il a décrit l'état de l'art de cette époque pionnière (voir Egolf et Auracher, RIF, 2006, 29/8). Depuis cette parution, la RIF a sans cesse publié des rapports sur les conférences et des articles scientifiques et techniques sur le froid magnétique à température ambiante. Aujourd'hui, suite à la 5ème Conférence THERMAG, THERMAG V, tenue à Grenoble, il a semblé opportun de publier un deuxième numéro spécial afin de souligner les développements survenus depuis dans ce domaine. Les articles de ce numéro spécial sont des communications des comptes rendus des conférences qui ont été actualisées, puis de nouveau examinées par des pairs dans le cadre du procédé de la RIF, les pairs en question étant généralement des membres du Groupe de travail sur le froid magnétique. A cette occasion, nous souhaitons remercier tous les scientifiques qui ont consacré beaucoup de temps à ce travail – nous apprécions l'examen d'une grande qualité qu'ils ont effectué. Pour la première fois, le Comité de rédaction de la RIF a décidé de publier des articles portant uniquement sur les développements et la recherche sur les matériaux magnétocaloriques. En général, les lecteurs de la RIF ont de bonnes connaissances des frigorigènes habituels, mais sont un peu perdus lorsqu'il s'agit de la description et de la caractérisation des substances qui se trouvent dans une toute autre partie du tableau périodique, parmi les solides (métaux et terres rares). Mais les matériaux magnétocaloriques constituent les frigorigènes solides des réfrigérateurs magnétiques. Et avec l'adoption de cette nouvelle méthode de refroidissement par la communauté du froid, les frigorigènes utilisés doivent également être acceptés et

refrigerants of magnetic refrigerators. And with the acceptance of this new alternative cooling method by the refrigeration community, its refrigerants and their advantages must also be accepted and must be pushed more into the focus of attention. This is why this Special Issue contains not only articles on magnetic refrigerator developments and the modeling and numerical simulation of their operation, etc. In addition, there is, as a novelty, a larger section containing important articles on magnetocaloric refrigerants and their physical, chemical and thermal characterization.

Because after THERMAG V a comprehensive report on the newest developments presented during the Conference has already been published (see Egolf and Gama, IJR, 2013, 36/5), this Editorial is more focused on general aspects and future perspectives of magnetic refrigeration.

The magnetocaloric effect is still one of the least utilized magnetic effects compared with, for example, magnetoresistance, magnetostriction, magnetic anisotropy etc. Row of magnetic materials, showing advanced properties, are widely applied in practice and are now all under large mass production. As an example, the permanent utilization of the giant magnetoresistance effect (GMR) led to the 2007 Nobel Prize in Physics, which was awarded to Albert Fert and Peter Grünberg for the discovery of the GMR. Therefore, a possible Physics Nobel Prize awarded to one of the early pioneers in the field of magnetocaloric materials or to a clever machine builder could be imagined to occur if this technology achieves a breakthrough.

The situation today in magnetic refrigeration is that a number of magnetic refrigerator prototypes are operating continuously and already have some good characteristics. On the other hand, they have not reached a sufficiently mature stage to enable them to be launched on refrigeration markets. The main reason for this is the still experimentally determined small values of the magnetocaloric effect in reasonable magnetic fields. The first discovery of the magnetocaloric effect showed a specific magnetocaloric effect of only a few Millikelvin per Tesla. In comparison, the current status of the best magnetocaloric alloys is impressive, namely six to seven Kelvin per Tesla (6–7 K/T). This development has taken more than a century of intensive research and development. Now one may ask if these developments may continue like this. But is anyone aware of a physical mechanism that could limit the maximal magnetocaloric effect, e.g. in nanosized magnetic materials? No! And one may easily believe that a maximum value of for example 35–40 K/T or even a higher specific value could one day be reached by the utilization of sophisticated nanostructured magnetocaloric materials. Of course, this is just “a pie in the sky” and serious efforts should be made to enable small developmental steps, always having a market application in mind and concentrating on particular applications. Markets other than magnetic refrigerator markets should also be considered, e.g. magnetocaloric hyperthermia or, precisely controlled by magnetic field, magnetic drug release in the medical field, where the price of the magnetocaloric material and sources of magnetic field are also of some importance, but has a larger tolerance than in the domestic and commercial appliances domain, where for instance supermarket products have to be produced with an enormous

davantage propulsés sous les feux de la rampe. C’est pour cette raison que ce numéro ne contient pas seulement des articles sur les développements dans le domaine des réfrigérateurs magnétiques et sur la modélisation et la simulation numérique de leur fonctionnement, mais aussi, et c’est une nouveauté, une partie importante consacrée aux articles clés sur les frigorigènes magnétocaloriques et leur caractérisation physique, chimique et thermique.

Comme un rapport exhaustif sur les derniers développements a déjà été publié suite à THERMAG V (voir Egolf et Gama, RIF, 2013,36/5), cet éditorial est essentiellement axé sur les aspects généraux et les perspectives futures du froid magnétique.

L’effet magnétocalorique demeure l’un des effets magnétiques les moins utilisés lorsqu’on le compare à la magnétorésistance, la magnétostriction, et l’anisotropie magnétique par exemple. Nombre de matériaux magnétiques, possédant des propriétés avancées, sont largement utilisés dans la pratique et font l’objet de production de masse importante. Par exemple, l’utilisation permanente de l’effet de la magnétorésistance géante (GMR) a conduit en 2007 au prix Nobel de physique décerné à Albert Fert et Peter Grünberg pour leur découverte de la GMR. Donc, on peut concevoir qu’un pionnier des matériaux magnétocaloriques ou un fabricant intelligent de machines pourrait recevoir le prix Nobel de physique si une percée technologique arrive.

Actuellement, il y a un certain nombre de prototypes de réfrigérateurs magnétiques qui fonctionnent en continu et sont dotés de bonnes caractéristiques. Mais ils ne sont pas encore suffisamment matures pour être lancés sur le marché. La raison principale est la faible valeur de l’effet magnétocalorique, au sein d’un champ magnétique raisonnable, déterminée de façon expérimentale. La découverte initiale de l’effet magnétocalorique a démontré un effet magnétocalorique de quelques Millikelvin par Tesla (1–3 mK/T) seulement. A titre de comparaison, le statut actuel des meilleurs alliages magnétocaloriques est impressionnant, c’est-à-dire six à sept Kelvin par Tesla (6–7 K/T). Ce développement a nécessité plus d’un siècle de recherche et développement intenses. On peut se demander si ces développements vont continuer ainsi. Mais est-ce que quelqu’un connaît un mécanisme physique qui pourrait limiter l’effet magnétocalorique maximal, par exemple au sein des matériaux magnétiques de nano-taille ? Non ! Et on peut facilement croire qu’une valeur maximale, par exemple de 36 K/T, voire une valeur plus importante, pourrait être obtenue un jour grâce à l’utilisation de matériaux magnétocaloriques nanostructurés et sophistiqués. Bien sûr cela semble utopique et le développement devrait se poursuivre petite étape par petite étape, toujours en gardant à l’esprit les applications commerciales, avec l’accent mis sur les applications spécifiques. Des marchés autres que celui des réfrigérateurs magnétiques devraient être examinés, par exemple, l’hyperthermie magnétocalorique ou la libération de médicaments ciblée avec précision dans le domaine médical, domaine où le prix du matériau magnétocalorique et la source du champ magnétique importent également, mais moins que dans le secteur des appareils électroménagers, ou celui des systèmes utilisés dans les supermarchés où il existe beaucoup de pression pour fabriquer des systèmes à moindre coût. Des recherches sur les enrobages des matériaux magnétocaloriques demeurent rares et devraient être poursuivies.

En outre, il est également important de souligner que tous ceux qui travaillent dans le domaine de la recherche et de la production des aimants permanents de pointe soutiennent également le froid magnétique de façon indirecte. Il y a 20 ans, on avait prévu qu’il y aurait

pressure for lowest cost. Research on smart coating of magnetocaloric materials, still rarely investigated, should be pursued.

Furthermore, it is also important to state that everybody who works in the area of researching and producing advanced permanent magnets also provides indirect support to magnetic refrigeration. Twenty years ago, a theoretical prediction was made that new composite magnetic materials would be today available and would have maximal energy densities of a $(BH)_{\max}$ value even larger than 100 MGOe. But this prediction has not been realized experimentally so far. Good new techniques, namely a press-less process and diffusion of Dy into the intergrain space of a magnet, led recently to significant progress in the technology of producing permanent magnets and through this also generated a significant cost reduction. All these developments indirectly favor the development of magnetic refrigeration and support the expected breakthrough. Naturally, permanent magnet producers have great hopes in the development of magnetic refrigeration as it would lead to the world's largest market for permanent magnets. To give an example, in 2008, 145 million standard-sized refrigerators were installed in US homes alone.

Since the last Special Issue on Magnetic Refrigeration was published, magnetic refrigerator prototypes have been substantially improved. High temperature spans of thirty and more Kelvin have now been obtained by several research groups. The refrigeration powers of first prototypes were only several dozen Watt, whereas now machines with powers of several kW are reported. This development is supported by an extraordinary development, namely a German company directly producing and delivering layered magnetocaloric alloys with a constant directional derivative of its Curie temperature. When appreciating temperature spans and powers, one has to be aware that there is a linear dependence between these data leading to a maximal temperature span at zero power and to a maximal power at zero temperature difference. So these two maximal values contain the full information of operation characteristics also for intermediate practical machine operation where then a smaller temperature span with a smaller power occurs. There are many thermodynamic cycles and operation principles possible to realize a magnetic refrigerator. The technology which over the last few years has crystallized out to be the leading one on the field is the AMR (Active Magnetic Refrigerator) or AMRR (Active Magnetic Regenerator Refrigerator) principle. Some researchers in the field have recently raised the issue of whether these cycles are really the best and most adapted ones or if even better possibilities exist. Furthermore, the tendency goes from linear reciprocating more toward rotational machines. The advantage is, for example, that no acceleration and deceleration-related power occurs, which also defines a loss. Another even more important loss is the pressure drop of a heat transfer fluid through a porous structure. Packed beds lead to too high losses, so that it becomes critical to obtain a good performing magnetic refrigerator with such fillings. There are numerous other losses; some are rather small, but one has to be very economic with all of them to in the end remain still with a good efficiency of a machine.

aujourd'hui de nouveaux matériaux magnétiques composites dotés de densités énergétiques maximales $[(BH)_{\max}]$ supérieures à 100 MGOe. Mais cette prévision ne s'est pas concrétisée sur le plan expérimental jusqu'à présent. De bonnes nouvelles techniques, le procédé sans presse et la diffusion de Dy au sein de l'espace intergranulaire de l'aimant, ont récemment permis des progrès importants dans la technologie de production des aimants permanents, diminuant dans la foulée le coût. Tous ces développements favorisent indirectement le développement du froid magnétique et la percée attendue. Naturellement, les fabricants d'aimants permanents comptent beaucoup sur le développement du froid magnétique, qui constituerait le plus grand marché d'aimants permanents du monde. Pour donner un ordre de grandeur, en 2008, 145 millions de réfrigérateurs domestiques ont été vendus et installés aux Etats-Unis seulement.

Depuis la parution du dernier numéro spécial de la RIF sur le froid magnétique, on a beaucoup amélioré les prototypes de réfrigérateurs magnétiques. Des éventails de température de trente Kelvin voire davantage ont été obtenus par plusieurs groupes de chercheurs. Les puissances frigorifiques des premiers prototypes ont été faibles (quelques dizaines de Watt), alors qu'on fait part désormais de machines dotées de puissances de plusieurs kW. Ce développement est soutenu par un développement extraordinaire : une entreprise allemande produit et fournit des alliages magnétocaloriques multicouches à dérivée directionnelle constante de leur température de Curie. Lorsqu'on examine les éventails de température et les puissances, il faut garder à l'esprit la dépendance linéaire entre ces données conduisant à un éventail de température maximal à puissance zéro et à une puissance maximale avec une différence de température de zéro. Donc, ces deux valeurs maximales englobent toutes les informations sur les caractéristiques de fonctionnement, également pour un fonctionnement du système sous des conditions intermédiaires avec un éventail de température et une puissance plus faibles. Il y a un grand nombre de cycles thermodynamiques et de principes de fonctionnement possibles permettant de réaliser un réfrigérateur magnétique. La technologie de prédilection qui a émergé depuis quelques années, est fondée sur l'AMR (réfrigérateur magnétique actif) ou AMRR (réfrigérateur magnétique à régénération active). Certains chercheurs dans ce domaine se demandent depuis peu si ces cycles sont vraiment les meilleurs et les plus adaptés, ou si d'autres possibilités encore meilleures existeraient. En outre, on a tendance actuellement à moins employer les systèmes linéaires alternatifs et davantage utiliser les systèmes rotatifs. Par exemple, l'avantage de ces derniers est qu'il n'y a pas de perte de puissance liée à l'accélération et à la décélération. La perte de pression d'un fluide de transfert à travers d'une structure poreuse constitue. Les matelas dispersants engendrent des pertes importantes également, et il est donc difficile d'obtenir un réfrigérateur magnétique performant lorsqu'on utilise de tels matelas. Il existe un bon nombre d'autres pertes, certaines étant faibles, mais il faut arriver à avoir le moins possible de pertes afin d'obtenir une machine efficace.

Comme plusieurs laboratoires de recherche travaillent sur leur deuxième ou troisième prototype, le rapport puissance/volume pourrait être amélioré davantage. De telles améliorations nécessitent des ensembles d'aimants plus performants et des coûts de production totaux plus faibles. Dans ce domaine, les ensembles de Halbach et les ensembles similaires de Halbach se sont avérés être les meilleurs. L'augmentation du nombre de chercheurs dans ce domaine fait que

Because several research laboratories are working on their second, third, etc. prototype the power to volume ratio could be further improved to higher values. This implies more performing magnet assemblies and by this also in the end lower production cost. Here sophisticated Halbach arrays and Halbach-like assemblies have proven to be the best choices. The increase of researchers working in the field has the advantage that now also many auxiliary problems are studied today, such as for example the controlling and regulation of magnetic refrigerators. Hydraulic flow regulation is very important especially in machines operating the AMRR thermodynamic cycle. Other researchers are improving static and especially dynamic sealing systems. Higher frequencies, which are very important to produce affordable magnetic refrigerators, are at present tried to be realized by applying different ideas. Some scientists concentrate on the thermal switch technology, also applying larger-scale Peltier elements, but also such of nanoscale. Some research groups are testing new kinds of elegant switching valves.

First research divisions, studying high-power magnetic heat pumps and chillers by the application of superconducting magnets, are starting to report on their first steps of investigations. Not much experience is available today. That is why some researchers try to upscale knowledge acquired at smaller scales to produce reasonable specifications for larger machines. Extensive future developments are expected in this direction.

Furthermore, in higher-generation prototypes it is a natural process that now also the machine designs are already a little bit more improved, even if at this stage of development rarely industrial designers are involved already in the planning and designing processes. Finally one may state that the technology of magnetic refrigeration slowly approaches the luxury market segments of highest-price refrigerators. Additional labeling for better environmentally friendly operation will be an additional argument for rich customers to buy such equipment.

Some work is now devoted to the development of magnetic refrigeration for the automobile industry. Such machines must show very high frequencies to be small enough and not have too much weight. The thermal switch technology seems ideal for such purposes (compare with statements above).

There are now new activities in developing the technology of magnetic energy conversion. These prototypes are in a very immature state of proving large-scale operation. The machines still have too low heat absorption properties and by this also too low frequencies to be performing enough. But the developments will go on and further progress is expected to occur in the next decade, bringing also this technology more into the focus of the community on energy and sustainability. From time to time a publication is presented that compares the magnetocaloric with the electrocaloric technology. A disadvantage of electrocalorics is that thin films are more available than large bulk plates in this also interesting field. So the preparation of electrocaloric modules is more expensive than the one of magnetocaloric modules. On the other hand, the electric field source is much less expensive for an electrocaloric device than its magnetocaloric counterpart for a magnetic refrigerator. Finally, the potential of the electrocaloric technology is also favorably evaluated and it is

de plus en plus d'autres problèmes sont étudiés (par exemple, la régulation des réfrigérateurs magnétiques). La régulation de l'écoulement hydraulique est très importante, surtout pour les machines fonctionnant avec un cycle thermodynamique fondé sur un système AMRR. D'autres chercheurs sont en train d'améliorer les systèmes d'étanchéité statiques et dynamiques. Les fréquences plus élevées, qui sont très importantes si on veut produire des réfrigérateurs magnétiques abordables, sont étudiées actuellement, et différentes approches sont appliquées. Certains scientifiques se focalisent essentiellement sur la technologie du commutateur thermique, appliquant également des grands éléments de Peltier classique, ou encore de la nanotechnologie. D'autres groupes de recherche sont en train d'essayer de nouvelles vannes de commutation sophistiquées.

Les divisions de recherche étudiant les pompes à chaleur et les refroidisseurs de grande puissance faisant appel aux aimants supraconducteurs commencent à faire part de leurs résultats initiaux, mais il y a peu de recul. C'est pour cela que certains chercheurs tentent d'étudier des systèmes éprouvés à petite échelle et les agrandissent afin de développer des machines plus grandes aux spécifications raisonnables. On prévoit des développements importants dans ce domaine.

En outre, pour les prototypes les plus récents, la conception des machines a été légèrement améliorée, même si à ce stade les concepteurs industriels sont rarement impliqués dans les procédés de planification et de conception. Enfin, on peut constater que la technologie du froid magnétique arrive peu à peu à rivaliser avec les segments haut de gamme des réfrigérateurs les plus chers. L'étiquetage indiquant la performance environnementale donnerait un motif supplémentaire pour l'achat de tels modèles par une clientèle riche.

Quelques travaux sont actuellement consacrés au développement du froid magnétique pour l'industrie automobile. De tels systèmes doivent fonctionner à des fréquences très élevées pour des raisons de la réduction de l'encombrement et du poids. La technologie du commutateur thermique semble optimale dans ce contexte (cf. les informations ci-dessus).

De nouvelles activités de développement sont en train d'émerger dans le domaine de la technologie de la conversion de l'énergie magnétique. Ces prototypes sont dans un stade de grande immaturité concernant le fonctionnement à grand échelle. Les machines présentent encore des propriétés d'absorption de chaleur insuffisante, résultant en des fréquences trop basses pour obtenir des systèmes hautement performants. Mais le développement se poursuivra, et on prévoit d'autres progrès au cours des dix ans à venir, et cette technologie attirera l'attention du public sur l'énergie et la durabilité des systèmes.

De temps à autre, une publication compare la technologie magnétocalorique et la technologie électrocalorique. L'inconvénient de la technologie électrocalorique est la meilleure disponibilité des pellicules minces par rapport aux plaques dans ce domaine intéressant : la fabrication des modules électrocaloriques coûte plus cher que la fabrication des modules magnétocaloriques. Mais la source de champ électrique pour un système électro calorique coûte nettement moins cher que celle d'un système magnétocalorique semblable dans un réfrigérateur magnétique. Enfin, le potentiel de la technologie électrocalorique est souvent favorablement évalué, et il est probable que davantage d'études seront publiées et davantage de nouveaux prototypes seront développés à l'avenir.

expected to find more published studies and first prototypes in this field in the future.

A small amount of classification work has appeared, and has given rise to clear schemes presenting the different magnet types, thermodynamic cycles, fluid transport systems, heat exchangers, regenerators, etc. In the design of regenerators, microchannel technology is widely applied and seems to be promising. Magnetocaloric microchannel regenerators show reasonable pressure drops. Such classification work is valuable for the IIR Working Party on Magnetic Refrigeration. Its advisory board has selected experts, led by Ekkes Brück, to work on standardization of magnetic heating, refrigeration and energy conversion.

In physical modeling, there is not much doubt about the right basic set of coupled partial differential equations, namely one for the magnetocaloric material and the other for the fluid circuit. But besides this, there are still many specific differences when presenting numerous works with results for a set of design and operation parameters that often is far from the optimum. Now Computational Fluid Dynamics (CFD) is applied by several research teams to study details of flow behavior in magnetic refrigeration fluid circuits. The final goal of numerical simulation is to identify optimal design and operation characteristics. Because of the large number of free parameters, this remains one of the biggest challenges in the field of magnetic refrigeration, and it can be stated that to date, no researchers have fully tackled this problem. For the specific cases under consideration, usually quite good agreement between numerical simulation results and experimental results are reported.

Finally we conclude that magnetic refrigeration has become an attractive emerging technology, soon ready to go out into practice to prove its sustainability, quality and performance. We hope that this Special Issue gives you a somewhat comprehensive survey of the present status of Magnetic Refrigeration at Room Temperature. We can certainly expect strong activities in this domain in the near future. The *International Journal of Refrigeration* will continue to keep you informed.

Peter W. Egolf, Guest Editor
University of Applied Sciences of Western Switzerland
Alexander M. Tishin, Guest Editor
M.V. Lomonosov Moscow State University
Hein Auracher, Editor-in-Chief,
Technische Universität Berlin

Quelques travaux de classification ont été effectués, et des schémas clairs présentant les différents types d'aimants, de cycles thermodynamiques, de transport de fluides, d'échangeurs de chaleur, de régénérateurs, etc. sont en train d'émerger. Dans la conception des régénérateurs, la technologie à microcanaux est largement appliquée et semble prometteuse. Les régénérateurs magnétocaloriques à microcanaux engendrent des pertes de pression modérées. Ces travaux de classification sont utiles pour le Groupe de travail de l'IIR sur le froid magnétique. Son comité consultatif a sélectionné des experts, dirigés par Ekkes Brück pour travailler sur la normalisation du chauffage, du refroidissement et de la conversion d'énergie magnétiques.

Dans le domaine de la modélisation physique, l'utilité du jeu adéquat d'équations différentielles couplées, c'est-à-dire une équation pour le matériau magnétocalorique et une équation pour le circuit du fluide, est indiscutable. Mais au-delà de cela, il reste des différences spécifiques dans la présentation de nombreux travaux sur les paramètres de conception et de fonctionnement qui sont loin d'être sélectionnés de façon optimales. Aujourd'hui, la mécanique numérique des fluides (CFD) est appliquée par plusieurs équipes de chercheurs afin d'étudier de façon approfondie le comportement des fluides dans les circuits de fluides utilisés dans le froid magnétique. L'objectif ultime de la simulation numérique est d'établir les caractéristiques d'une conception et d'un fonctionnement optimaux. En raison du grand nombre de paramètres libres, ce processus demeure l'un des plus grands défis dans le domaine du froid magnétique, et on peut constater qu'aucun chercheur n'a encore pu régler totalement ce problème. Pour la plupart des cas examinés, il existe une bonne concordance entre les résultats de la simulation numérique et les résultats expérimentaux.

Finalement, nous concluons que le froid magnétique est devenu une technologie émergente attractive, bientôt prête à être appliquée et à prouver sa durabilité, sa qualité et sa performance.

Nous espérons que ce numéro spécial vous donnera une vision en quelque sorte approfondie du statut actuel du froid magnétique à température ambiante. Il est certain que ce domaine connaîtra beaucoup d'activité dans un avenir proche. La *Revue Internationale du Froid* vous tiendra au courant !

Peter W. Egolf, Rédacteur invité
Université de Sciences Appliquées de Suisse Occidentale
Alexander M. Tishin, Rédacteur invité
Université d'Etat de Moscou M.V. Lomonosov
Hein Auracher, Rédacteur en chef
Technische Universität Berlin

15 August 2013
Available online 30 October 2013

0140-7007/\$ – see front matter
© 2013 Elsevier Ltd and IIR.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jrefrig.2013.10.004>