

## Nouveaux nano matériaux pour amener une rupture en terme de performance dans la récupération d'énergie par voie Seebeck

*Julia SIMON*

Dans le contexte actuel de changement climatique et environnemental, la récupération d'énergie est promue dans tous les domaines et pour de multiples sources. Ainsi, les systèmes de récupération d'énergie par voie thermoélectrique connaissent un regain d'intérêt très important. D'une part, leur utilité est particulièrement vive dans l'environnement industriel, où la majeure partie de l'énergie consommée est souvent dissipée inutilement sous forme thermique. D'autre part, l'introduction des matériaux nano structurés porte la promesse d'une augmentation du rendement de conversion. C'est pourquoi, ce projet travaille à l'élaboration de matériaux thermoélectriques avec un rendement de conversion de l'énergie supérieur à l'état de l'art et à la mise en œuvre des technologies de fabrication de démonstrateurs avec ces nouveaux matériaux, dans les gammes de températures inférieures à 300°C et supérieures à 600°C.

Concernant la synthèse des matériaux nano composites à température ambiante ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), la mécano synthèse a démontré d'excellents résultats. L'obtention de nano particules de  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  (dopage p) de 10nm de diamètre a été validée par imagerie TEM. La microscopie électronique en transmission révèle l'apparition de nano précipités d'antimoine lors du frittage CIC (compaction isostatique à chaud), à l'origine d'un abaissement considérable de la conductivité thermique et conduisant à un ZT égal à 1.3 à température ambiante. Le frittage SPS (spark plasma sintering), quant à lui, témoigne d'un effet encore plus remarquable avec un ZT de 1.45 à température ambiante.

Ces résultats majeurs dans le domaine, permettent d'envisager un gain d'environ 50% sur les performances thermoélectriques de ces matériaux à température ambiante. Pour les matériaux à haute température, les premières synthèses de  $\text{SixGe}_{1-x}$  donnent des résultats encourageants, en terme de finesse des particules et composition et les frittages par CIC et HUP (Haute Pression Uniaxiale) de ces poudres permettent d'obtenir des propriétés thermoélectriques à l'état de l'art. La mécano synthèse de nano particules de siliciures  $\text{NiSi}_2$  a été mise au point en parallèle : une phase unique est obtenue pour un large spectre de taille. La nano structuration du  $\text{SixGe}_{1-x}$  par inclusion de nano particules de siliciure métallique, stratégie innovante brevetée par le CEA/Liten, permet d'envisager une augmentation du ZT d'un facteur 2 à haute température, d'après nos prédictions théoriques.

La réalisation de thermo générateurs à partir de matériaux commerciaux basse température a permis de mettre au point les étapes technologiques pour des modules miniaturisés (1 cm de côté), démontrant des performances légèrement inférieures à la théorie.

Un banc de mesure fonctionnant sous vide et pouvant atteindre une température de 250°C a été développé et mis en œuvre et permettra la caractérisation précise des modules thermoélectriques à base de matériaux nano structurés. Les briques technologiques d'assemblage nécessaires à la fabrication de modules haute température sont en cours de développement avec des premiers essais de brasage et des études sur les contraintes mécaniques et thermiques dans les assemblages.