

Emmanuel DUMONS

## RÉSUMÉ

Parmi les objectifs de développement durable, la sobriété énergétique et la diminution de l'usage de matériaux aux ressources limitées sont particulièrement importants dans le domaine de l'électronique. Ainsi, récupérer de l'énergie inutilisée dans un environnement donné pour rendre autonome un dispositif électrique et pouvoir se passer de pile ou de batterie fait partie des réponses à ces objectifs. De plus, la forte progression de l'Internet des Objets génère des questions sur l'impact environnemental des objets connectés tels que les « capteurs autonomes communicants sans fil ». La diminution de la consommation énergétique de ces dispositifs permet d'envisager l'utilisation des sources d'énergies ambiantes pour les alimenter avec des modules de récupération d'énergie à la place des piles. En particulier, depuis les années 2000, les récupérateurs d'énergie à base de matériaux piézoélectriques qui convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique ont suscité un fort intérêt de la communauté scientifique. Les sources d'énergie mécanique visées sont des fluides (air, eau), des structures vibrantes (véhicules, machines industrielles), ou même le corps humain. Parmi les matériaux piézoélectriques étudiés, l'oxyde de zinc, sous forme nanostructurée, est apparu comme un candidat prometteur car facile à synthétiser, compatible avec la Directive européenne RoHS et biocompatible. Le laboratoire GREMAN, dont la spécificité est d'aborder toutes les étapes, de la modélisation à la fabrication de ces dispositifs, en passant par de la caractérisation dédiée, a proposé un design original basé sur un composite nanofils/polymère sur substrat rigide ou souple.

Cette thèse de doctorat s'intéresse au fonctionnement de ce type de nanogénérateurs et plus spécifiquement au couplage des propriétés piézoélectriques et semiconductrices de l'oxyde de zinc dans une configuration nanostructurée. Des simulations numériques utilisant un modèle multiphysique pour la méthode par éléments finis permettent de prévoir les conséquences des variations des différents paramètres sur la tension générée ou sur l'énergie électrique récupérée. Cette nanostructuration exacerbe les propriétés surfaciques par rapport aux propriétés volumiques comme l'effet des pièges de surface sur les nanofils. Dans ce

contexte, des modulations des propriétés mécaniques, piézoélectriques et électriques sont donc à envisager afin de mieux connaître la réponse électrique du nanogénérateur pour une excitation mécanique donnée. Ce travail montre que le fait de diminuer le diamètre des nanofils implique l'augmentation de leur densité de pièges de surface et peut conduire à une augmentation d'un facteur 100 de la tension générée et d'un facteur 10 de l'énergie électrique récupérée. D'autres éléments, comme le choix du polymère et les propriétés géométriques du composite, sont étudiés afin de donner des pistes d'amélioration du procédé de fabrication. Ce travail montre aussi l'effet bénéfique d'une densité de nanofils donnée pour un piézocomposite 1-3 afin d'améliorer le couplage mécano-électrique même dans le cas de nanofils piézo-semiconducteurs. Enfin, un circuit électrique externe capable d'extraire l'énergie électrique convertie par le nanogénérateur est intégré dans différentes simulations permettant de déduire la résistance équivalente optimale pour une densité de nanofils donnée sur une surface donnée. Les résultats pour une surface active de nanogénérateur de  $1 \text{ cm}^2$  et une densité caractéristique de  $40 \text{ nanofils}/\mu\text{m}^2$  donnent une résistance équivalente optimale de  $100 \text{ M}\Omega$ . Afin d'envisager la validation expérimentale des résultats obtenus par simulation et dans le but de pouvoir comparer les performances des nanogénérateurs, un protocole de caractérisation expérimentale est proposé. Il utilise une machine mécanique de compression, permettant de créer une excitation mécanique maîtrisée, et un circuit électrique de mesure dédié.