



# L'influence de la température sur Générateur Thermoélectrique

Ibtissem Sifi<sup>1</sup>, Ghellai Nassera<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unité de Recherche des Matériaux et des Energies Renouvelables, Département de Physique  
Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, B.P: 119 Tlemcen 13000, Algérie.

\*btissem7@gmail.co

**Résumé**— La génération de courant par effet thermoélectrique apparaît comme une source intéressante pour soulager les problèmes énergétiques actuels, en mettant à profit la transformation des énormes quantités de chaleur perdues dégagées par exemple par les voitures,... en énergie utile. Les objectifs de notre travail sont l'étude et la modélisation d'un générateur thermoélectrique. Ainsi, après avoir présenté les notions de base de la thermoélectricité, passant également en revue les propriétés physiques et chimiques des matériaux thermoélectriques et les applications thermoélectriques actuelles, on s'est intéressé à la modélisation et au dimensionnement par Matlab d'un générateur thermoélectrique.

**Keywords**— Thermoélectricité, Matériaux, Caractéristiques.

## I. INTRODUCTION

L'effet thermoélectrique est un phénomène physique caractéristique de certains matériaux contribuant à la conversion de l'énergie. Un matériau thermoélectrique permet de transformer directement de la chaleur en électricité (génération d'électricité) ou de déplacer des calories par l'application d'un courant électrique (application de réfrigération) [1].

## II. HISTORIQUE DES MATERIAUX THERMOELECTRIQUES

Les qualités d'un matériau thermoélectrique se mesurent par un nombre sans dimension, appelé facteur de mérite **ZT**.

- En 1950, l'apparition des matériaux thermoélectriques à base des semi-conducteurs (Tellure de Bismuth massif alliés avec l'Antimoine et le Plomb) [2].
- En 1970, ce facteur ( $ZT$ ) = 1 (pour le Tellure de Bismuth massif).
- En 2000, apparition des premiers matériaux thermoélectriques nanostructurés, présentant des  $ZT > 1$ .
- En 2001, des couches minces de Tellure de Bismuth et d'Antimoine ( $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$ ):  $ZT = 2,4$  à température ambiante [3].

## III. TECHNOLOGIES DE CONVERSION THERMIQUE

Les applications thermoélectriques sont dédiées à la génération de puissance électrique ou à la réfrigération [4].

### A. Refroidissement

Actuellement, plusieurs types des dispositifs à base des modules thermoélectriques sont commercialisés pour différentes domaines d'applications: domestique (réfrigérateurs portables, Fig 1-a), automobile (sièges localement refroidis, Fig 1-b), photovoltaïque (*module hybride photovoltaïque-thermoélectrique* (Fig 1-c)) [5].



Fig 1-a Réfrigérateur portable



Fig 1-b Siège automobile

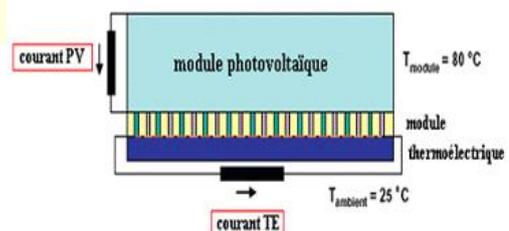


Fig 1-c Schéma d'un module hybride photovoltaïque-thermoélectrique



### B. Génération de Puissance

On peut citer en exemple les radios alimentées par des modules thermoélectriques chauffées par une lampe à pétrole pour les régions lointaines de Sibérie (années 50), ou bien les fours à bois qui peuvent produire quelques dizaines de watts d'électricité grâce à un module thermoélectrique intégré (Fig 2) [6].

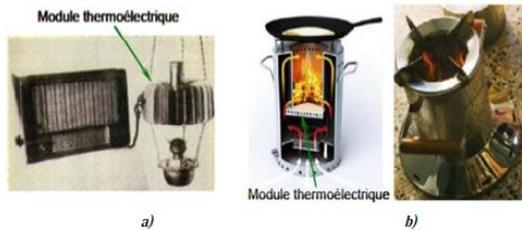


Fig 2 Radio alimentée par module thermoélectrique utilisant la chaleur d'une lampe à pétrole (a), four à bois avec un module thermoélectrique intégré pour la production d'électricité (Philips Research) (b)

Ce type d'applications est donc spécifique aux zones isolées ou lointaines où il n'y a pas des réseaux électriques [7].

## VI. PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

D'un point de vue qualitatif, un bon matériau thermoélectrique doit posséder :

- Un bon coefficient Seebeck  $S$  pour générer le courant;
- Une bonne conductivité électrique  $\sigma$  pour minimiser les pertes de chaleur par effet joule et augmenter le courant qui traverse la charge ;
- Une faible conductivité thermique  $\lambda$  pour maintenir un gradient de température appréciable aux bornes du matériau.

Les trois coefficients  $S$ ,  $\lambda$  et  $\sigma$  interviennent dans la définition du facteur de mérite  $ZT$ , défini par :

$$ZT = TS^2 \frac{\sigma}{\lambda} \quad (\text{eq 1})$$

D'après la Fig 3, il en résulte que ni les métaux, ni les isolants n'ont des facteurs de mérite appropriés. Pour les premiers, malgré leur excellente conductivité électrique  $\sigma$ , le coefficient Seebeck  $S$  est très faible et la conductivité thermique  $\lambda$  est très élevée. Les isolants, au contraire, ont des faibles conductivités thermiques et des grands coefficients Seebeck, mais ceci ne suffit pas pour compenser leurs trop faibles conductivités électriques [8].

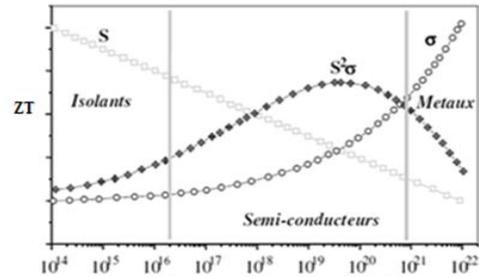


Fig 3 Conductivité électrique, coefficient Seebeck, conductivité thermique et le facteur de puissance en fonction de la concentration des porteurs de charge.

De plus, dans le cas des semiconducteurs, Les meilleurs facteurs de mérite sont obtenus pour des concentrations de porteurs de charge de  $10^{19}$  à  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ , ce qui correspond aux semiconducteurs fortement dopés. Actuellement les alliages bismuth-antimoine, la famille des tellures de bismuth et de plomb ainsi que les alliages silicium-germanium constituent l'essentiel des matériaux de référence.

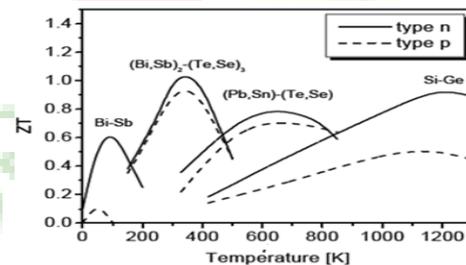


Fig 4 Évolution de  $ZT$  en fonction de la température pour les matériaux conventionnels de type n et type p.

Chacune de ces familles n'est efficace que sur une plage de température restreinte [9].

## I. EFFETS THERMOELECTRIQUES

### A. Effet Seebeck

En 1821, le physicien Allemand THOMAS SEEBECK remarqua qu'une aiguille métallique est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs de nature différente et soumis à un gradient de température [10].

Plus tard, on expliquera le phénomène par l'apparition d'une différence de potentiel à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température (Fig 5), Un matériau thermoélectrique va donc permettre de transformer directement la chaleur en électricité [11].

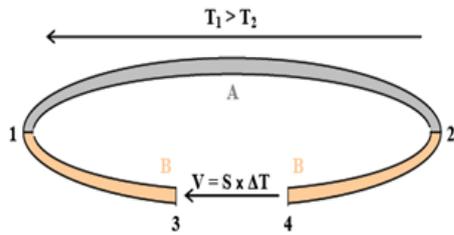


Fig 5 Illustration de l'effet Seebeck

### B. Effet Peltier

En 1834, le physicien Français JEAN PELTIER découvrit le second effet thermoélectrique : une différence de température apparaît aux jonctions de deux matériaux de nature différente (matériau type n et matériau type p) soumis à un courant électrique (Fig 6) [12].

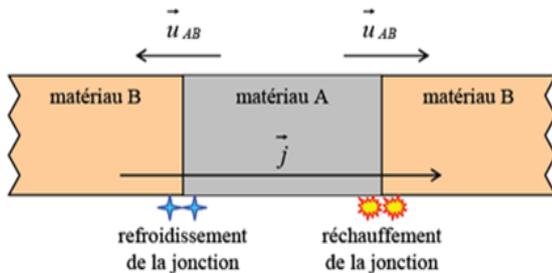


Fig 6 Illustration de l'effet Peltier

### C. Effet Thomson

En 1851, le physicien WILLIAM THOMSON montra que les effets Seebeck et Peltier sont liés [13].

L'effet Thomson définit une chaleur absorbée ou dégagée par unité de temps lorsqu'un courant électrique  $I$  traverse une région d'un matériau ayant un gradient de température (Fig 7) [14].

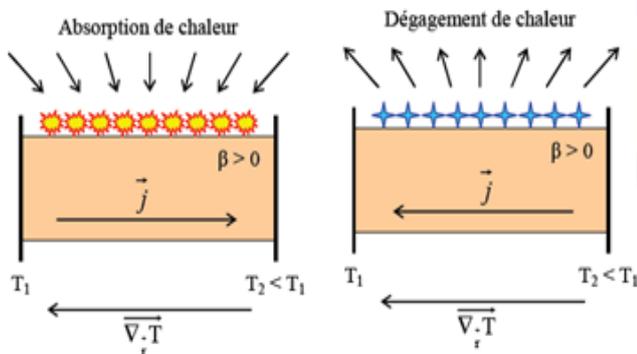


Fig 7: Illustration de l'effet Thomson.

## II. GENERATEUR THERMOELECTRIQUE

Un générateur thermoélectrique est présenté par deux branches constituées de deux semiconducteurs l'un de type n et l'autre de type p en contact à leurs extrémités avec une source chaude à la température  $T_c$  et une source froide à la température  $T_f$ , les deux extrémités à la température  $T_f$ , étant fermées sur une résistance de charge  $R$  (Fig 8) [15].

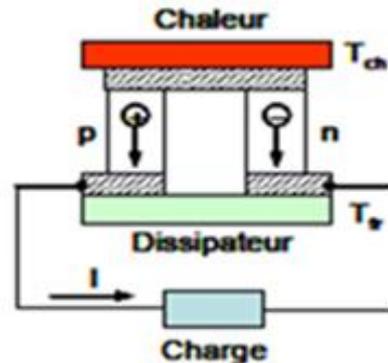


Fig 8 Représentation d'un générateur thermoélectrique

## III. SIMULATION DE NOTRE GENERATEUR PAR LE MODELE DE DES ELEMENTS FINIS PAR LE MATLAB

Dans les travaux de réalisation d'un générateur thermoélectrique, un ventilateur a été utilisé pour refroidir ce dernier au cours de la génération du courant électrique avec une vitesse de refroidissement variant de 0 à 12m/s.

Le tableau suivant représente les paramètres d'entrées, les paramètres calculés puis tracés par Matlab :

Matériau utilisé (le tellure de plomb et ses dérivés (Pb, Sn) Te			
Paramètres d'entrées	Temps t (s)	Température T(°C)	Vitesse de refroidissement V (m/s)
Paramètres Calculés par Matlab	Q(W)	Énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique	
	ZT	Facteur de mérite	
	η(%)	Rendement thermoélectrique	
	I(A)	Courant généré par le générateur	
	Vg(V)	Tension générée par le générateur	

Tableau1 Paramètres d'entrées, paramètres calculés et puis tracés par Matlab



#### IV. RESULTAT ET DISCUSSION

##### A. L'énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction du temps

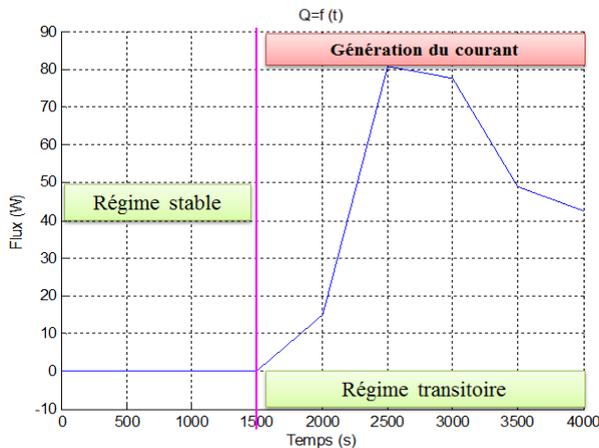


Fig 9 Énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction du temps  $Q=f(t)$

La caractéristique de l'énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction du temps de la simulation est croissante jusqu'à une valeur maximale du flux  $Q_{max}=80.8965W$  et puis décroissante.

Dans le régime stable, on a  $Q=constante \approx 0W$ , pour  $t$  variant de 0 à 1500s.

La génération du courant se fait durant le régime transitoire pour une valeur du temps est égale à 1500s. Le comportement en général dépend du temps du système, ceci est dû essentiellement à la capacité thermique des dissipateurs de la chaleur et aussi à ceux de l'effet Joule de la résistance électrique.

##### B. La tension en fonction de la température

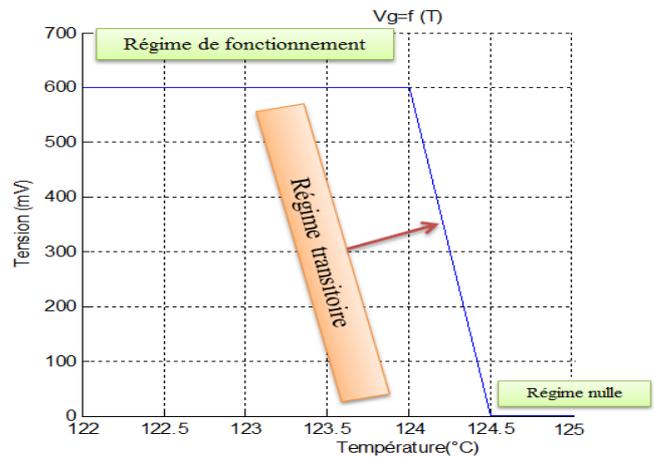


Fig 10 Tension en fonction de la température:  $Vg=f(T)$

La courbe de tension en fonction de la température est une courbe non linéaire comporte deux partie : on déduit que le coefficient de Seebeck  $S$  du matériau est sensible à la température ( $T$ ).

##### C. Le facteur de mérite en fonction de la température

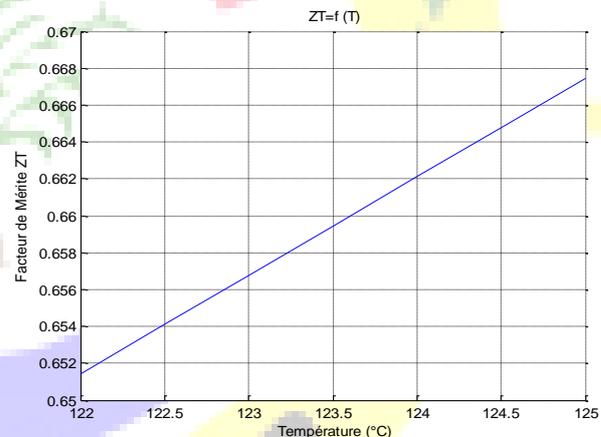


Fig 11 Le facteur de mérite en fonction de la température:  $ZT=f(T)$

Le facteur de mérite dépend linéairement avec la température jusqu'à une certaine valeur, la valeur maximale du facteur de mérite est égale à 0.667, représentant la valeur théorique du matériau utilisé (le tellure de plomb et ses dérivés (Pb, Sn) Te).



D. Le rendement en fonction de la température

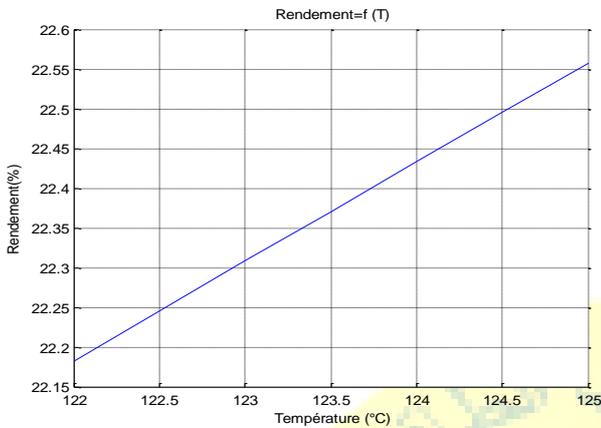


Fig 12 Le rendement en fonction de la température:  
 $\eta = f(T)$

D'après la simulation, le rendement varie linéairement avec la température.

La valeur maximale du rendement est de 22.552%, donc 22.552% de l'énergie thermique est transférée en énergie électrique grâce au module thermoélectrique d'une longueur  $x$  de l'ordre de 0.16m.

E. L'énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction de la température

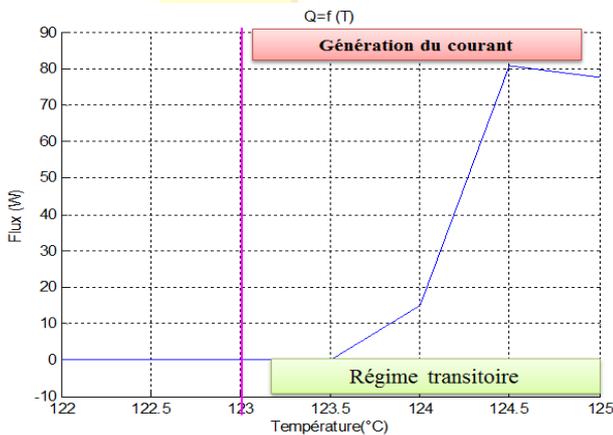


Fig 13 Énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction de la température:  $Q=f(T)$

La caractéristique de l'énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction de la température est une courbe croissante jusqu'à une valeur maximale du flux

( $Q_{max}=80.4W$ ) et puis décroissante donc on peut dire que la thermoélectricité est un effet non linéaire de la température.

F. =L'énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction de la vitesse de refroidissement

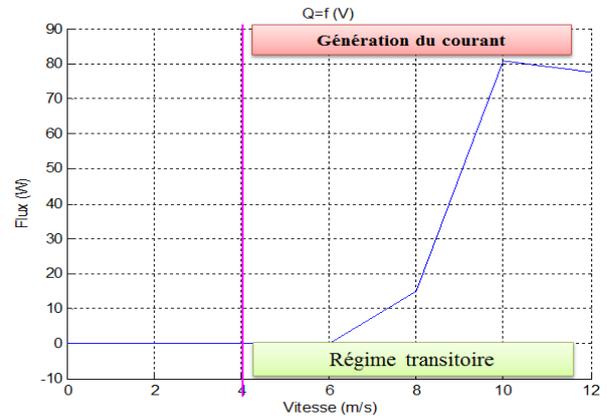


Fig 14 Énergie recueillie aux bornes de la résistance électrique en fonction de la vitesse de refroidissement:  $Q=f(V)$

La courbe montre que la chaleur à travers le module thermoélectrique est une fonction de la vitesse du ventilateur, la génération du courant commence à une vitesse de refroidissement donnée par le ventilateur de l'ordre de 6m/s.

G. Le courant généré en fonction de la température

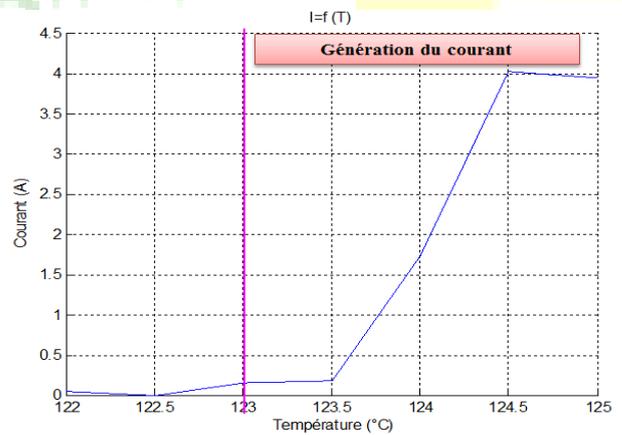


Fig 15 Le courant généré en fonction de la température:  $I=f(T)$

La caractéristique du courant généré par le générateur thermoélectrique en fonction de la température est une courbe croissante, ce dernier atteint une valeur maximale, et puis on constate une décroissance, pour cela on peut dire que la température a un effet non linéaire sur la thermoélectricité.



H. Le courant généré en fonction de la vitesse du refroidissement:  $I=f(V)$

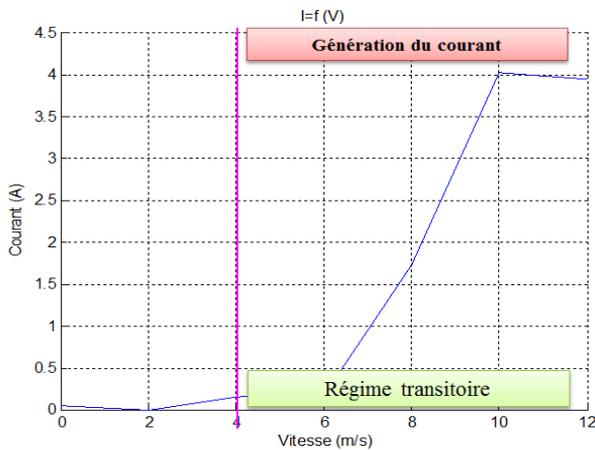


Fig16 Le courant généré en fonction de la vitesse du refroidissement:

$$I=f(V)$$

La vitesse du ventilateur qui n'est autre que la vitesse de refroidissement du générateur thermoélectrique augmente avec la génération du courant électrique.

## VII. CONCLUSION

La chaleur à travers le module thermoélectrique est une fonction de la vitesse du ventilateur car le refroidissement du générateur thermoélectrique augmente avec l'augmentation de la température pour permettre la génération du courant électrique.

Le comportement en général dépend du temps du système, ceci est dû essentiellement à la capacité thermique des dissipateurs de la chaleur et aussi à ceux de l'effet Joule de la résistance électrique.

Le temps et la température sont des effets non linéaires sur la thermoélectricité.

La valeur maximale du facteur de mérite trouvée correspond à la valeur théorique du matériau étudié.

Le facteur de mérite et le rendement dépendent linéairement avec la température.

Une grandeur de l'ordre de 22.552% de l'énergie thermique est transférée en énergie électrique grâce à un module thermoélectrique d'une longueur de 0.16m.

## REFERENCES

- [1] H.J. Goldsmid, R.W. Douglas, 'The use of semiconductors in thermoelectric refrigeration', British Journal of Applied Physics, 1954, Vol.5, N°303, 386-390.
- [2] F.D. Rosi, B. Abeles, R.V. Jensen, 'Materials for thermoelectric refrigeration', Journal of Physics and Chemistry of Solids, 1959, Vol.10, 191-200.
- [3] C.B. Satterthwaite, R.W. Ure, 'Electrical and thermal properties of Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>', Physical Review, 1957, 108, 1164-1170.
- [4] E. Gross, M. Riffel, U. Stohrer Thermoelectric generators made of FeSi<sub>2</sub> and HMS: fabrication and measurement J. Mater. Res., Vol.10, pp.34, (1995).
- [5] M. Beekman, G. S. Nolas Synthesis and thermal conductivity of type II silicon clathrates Physica B, Vol.383, pp.111, (2006).
- [6] T. Kajikawa, « Thermoelectric Power Generation System Recovering Industrial Waste Heat », in Thermoelectrics handbook: macro to nano, CRC/Taylor & Francis., D. M. Rowe, 2006, p. 50.1- 50.28.
- [7] A. F. Ioffe, Semiconductor thermoelements, and Thermoelectric cooling. Infosearch, Ltd., 1957.
- [8] M. Kishi et al., « Micro thermoelectric modules and their application to wristwatches as an energy source », in 18th International Conference on Thermoelectrics, 1999, p. 301-307.
- [9] S. Priya et D. J. Inman, Energy Harvesting Technologies. Springer, 2008.
- [10] G. S. Nolas, J. Sharp, et H. J. Goldsmid, Thermoelectrics: basic principles and new materials developments. Springer, 2001.
- [11] G. L. Bennett, « Space Nuclear Power: Opening the Final Frontier », 4th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC), 26-29 June 2006, San Diego, California, USA.
- [12] S. D. Mahanti et T. P. Hogan, Chemistry, physics, and materials science of thermoelectric materials: beyond bismuth telluride. Springer, 2003.
- [13] T. M. Tritt, Thermal conductivity: theory, properties, and applications. Springer, 2004.
- [14] A.LINDER « la Thermoélectricité » presse universitaire de France n°1381, 1970.
- [15] M. Ait Hamouda, K. Ziouche, M. Haffar « Etude du pouvoir thermoélectriques de couches de polysilicium dopées N et P de 20 à 450°C », Institut d'électronique microélectronique et de nanotechnologie IEMN, 2010.