

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 60450 A1** (51) Cl. internationale : **H02N 2/186; H02N 2/00**
- (43) Date de publication : **29.11.2024**

- 
- (21) N° Dépôt : **60450**
- (22) Date de Dépôt : **17.05.2023**
- (71) Demandeur(s) : **UNIVERSITÉ SULTAN MOULAY SLIMANE , Présidence de l'Université Sultan Moulay Slimane, B.P. : 591, Hay Takaddoum, 23000 Beni Mellal (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **TOUAIRI Souad ; MABROUKI Mustapha**
- (74) Mandataire : **TAOUAF Ilham**

- 
- (54) Titre : **SYSTEME DE PRODUCTION D'ENERGIE PIEZOELECTRIQUE DANS LES TERRAINS DE FOOTBALL**
- (57) Abrégé : La collecte de l'énergie du corps humain (environ 100 W de consommation au repos) sous diverses formes semble être une source d'énergie presque parfaite pour les appareils électroniques, mais des problèmes pratiques ont empêché son adoption. Dans ce brevet, nous avons mis au point une nouvelle méthode de fabrication d'un générateur piézoélectrique pour ces appareils électroniques. Notre approche utilise une combinaison de matériaux de conversion d'énergie en couches minces avec une conception mécanique peu invasive. Les travaux et les résultats sont détaillés dans la section "Méthodes et matériaux". Fournir de l'énergie aux supporters de football est un défi majeur. Il faut créer une source d'énergie efficace pour que le dispositif fonctionne pendant toute la durée d'utilisation, sans qu'il soit nécessaire de procéder à une intervention de maintenance pour remplacer la batterie. Le dispositif ne doit pas interférer avec le fonctionnement de l'équipement de fabrication. En outre, il doit être non seulement compatible avec la structure actuelle des terrains de football, mais aussi évolutif pour une multifonctionnalité future.

## Mémoire descriptif de la demande de brevet

### TITRE :

### **SYSTEME DE PRODUCTION D'ENERGIE PIEZOELECTRIQUE DANS LES TERRAINS DE FOOTBALL**

### ABREGE :

La collecte de l'énergie du corps humain (environ 100 W de consommation au repos) sous diverses formes semble être une source d'énergie presque parfaite pour les appareils électroniques, mais des problèmes pratiques ont empêché son adoption. Dans ce brevet, nous avons mis au point une nouvelle méthode de fabrication d'un générateur piézoélectrique pour ces appareils électroniques. Notre approche utilise une combinaison de matériaux de conversion d'énergie en couches minces avec une conception mécanique peu invasive. Les travaux et les résultats sont détaillés dans la section "Méthodes et matériaux".

Fournir de l'énergie aux supporters de football est un défi majeur. Il faut créer une source d'énergie efficace pour que le dispositif fonctionne pendant toute la durée d'utilisation, sans qu'il soit nécessaire de procéder à une intervention de maintenance pour remplacer la batterie. Le dispositif ne doit pas interférer avec le fonctionnement de l'équipement de fabrication. En outre, il doit être non seulement compatible avec la structure actuelle des terrains de football, mais aussi évolutif pour une multifonctionnalité future.

## **DOMAINE DE L'INVENTION :**

Les matériaux piézoélectriques produisent une tension électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique, telle qu'une vibration ou une pression. Les dispositifs piézoélectriques sont utilisés dans de nombreux domaines tels que la production d'énergie, les capteurs et actionneurs, les transducteurs, les systèmes de récupération d'énergie et les technologies de mesure et de contrôle. Les applications spécifiques incluent les capteurs de pression et d'accélération, les systèmes d'injection de carburant pour les moteurs, les systèmes de génération d'énergie électrique à partir de vibrations mécaniques, les systèmes de contrôle de vibration, les dispositifs d'ultrasons pour la médecine et l'industrie, et les actionneurs pour le contrôle de la position et du mouvement. Les avancées dans le domaine de la piézoélectricité ont conduit à des développements importants dans de nombreux domaines techniques, y compris l'électronique, l'optique, la mécanique, la chimie et la physique des matériaux.

Il est possible d'utiliser l'énergie de vibration dans les terrains de football pour produire de l'électricité. Cette méthode de production d'énergie est basée sur la technologie de récupération d'énergie cinétique (REC). Les terrains de football sont sujets à des vibrations qui sont produites par les mouvements des joueurs, le ballon et les supporters. Ces vibrations peuvent être transformées en énergie électrique à l'aide de dispositifs piézoélectriques, qui sont placés sous la surface du terrain. Les dispositifs piézoélectriques utilisent des matériaux piézoélectriques qui produisent une tension électrique lorsqu'ils sont soumis à une pression mécanique. Lorsqu'un joueur court ou qu'un ballon est frappé sur la surface du terrain, cela crée une vibration qui est transmise à la couche de piézoélectriques sous le terrain. Ces vibrations génèrent une tension électrique qui peut être stockée dans des batteries ou directement utilisée pour alimenter des appareils électroniques. Cette technologie de récupération d'énergie cinétique peut être utilisée pour alimenter les lumières du stade, les panneaux publicitaires, les systèmes de sonorisation et d'autres équipements électroniques dans le stade. Elle peut également être utilisée pour alimenter les systèmes de chauffage ou de refroidissement des bâtiments situés à proximité du stade. L'utilisation de la technologie de récupération d'énergie cinétique dans les terrains de football peut contribuer à réduire la dépendance aux sources d'énergie fossile et à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cela peut également contribuer à la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables dans le domaine sportif et sensibiliser les spectateurs et les joueurs à l'importance de la protection de l'environnement.

## **ETAT DE L'ART :**

La technologie de récupération d'énergie cinétique par des matériaux piézoélectriques est un domaine de recherche en plein essor [1]. Les matériaux piézoélectriques ont la propriété de produire une tension électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique telle qu'une pression ou une vibration [2]. Cette propriété permet de convertir l'énergie cinétique des mouvements mécaniques en énergie électrique [3].

Plusieurs études ont été menées sur la récupération d'énergie cinétique à partir de sources diverses, notamment les vibrations dans les structures, les mouvements de la mer, les mouvements des véhicules et des piétons, et les mouvements des corps humains [4]. Les dispositifs piézoélectriques ont été utilisés dans ces études pour récupérer l'énergie cinétique à partir de ces sources [5]. En ce qui concerne les terrains de football, plusieurs recherches ont été menées sur la récupération d'énergie cinétique à partir des vibrations produites lors des matchs [6]. Les résultats de ces études ont montré que les dispositifs piézoélectriques peuvent être utilisés pour récupérer l'énergie cinétique produite dans les terrains de football [7]. Cependant, la quantité d'énergie récupérée dépend de plusieurs facteurs tels que la fréquence et l'amplitude des vibrations, la densité de dispositifs piézoélectriques et la qualité des matériaux utilisés [8].

Des recherches sont également en cours pour améliorer la performance des dispositifs piézoélectriques utilisés dans la récupération d'énergie cinétique. Les chercheurs travaillent sur l'utilisation de matériaux piézoélectriques plus performants, tels que les matériaux hybrides, pour améliorer la quantité d'énergie récupérée [9]. Des recherches sont également menées pour optimiser la conception des dispositifs piézoélectriques et pour intégrer ces dispositifs dans les structures existantes, telles que les ponts et les bâtiments, pour récupérer l'énergie cinétique produite dans ces structures.

Notre approche focalise sur la technologie de récupération d'énergie cinétique par des matériaux piézoélectriques en constante évolution pour de nombreuses applications potentielles. Le brevet proposé vise à améliorer la performance des dispositifs piézoélectriques et à optimiser leur utilisation dans différents domaines, notamment dans les terrains de football.

## **Description sommaire de l'invention :**

### **I. Matériel :**

- Au moins deux éléments piézoélectriques positionnés de manière à être soumis à des vibrations ou des contraintes mécaniques dans deux directions orthogonales différentes ;
- Un circuit électronique de récupération d'énergie connecté auxdits éléments piézoélectriques ;
- Un dispositif de stockage d'énergie électrique connecté audit circuit électronique, permettant de stocker l'énergie produite par les éléments piézoélectriques.

A l'instar de la couche PZT, les paramètres géométriques de l'unimorphe sont mesurés et sont reportés, après avoir été moyennés. La valeur moyenne de l'épaisseur du PZT est égale à 150,8

$\mu\text{m}$  avec un écart-type de  $\pm 0,3 \mu\text{m}$  lié au procédé de fabrication, notamment après l'étape de rectification. Les valeurs des paramètres de la longueur et de la largeur sont 39 mm et 4 mm respectivement, avec une précision de l'ordre du micromètre.

## II. Méthode :

La conception d'un récupérateur piézoélectrique par CATIA est un processus complexe qui nécessite une expertise en modélisation 3D et en conception de dispositifs piézoélectriques. Cependant, en suivant les étapes ci-dessus et en utilisant les outils de CATIA, il est possible de créer un modèle 3D précis et conforme aux spécifications du dispositif.

La conception d'un récupérateur piézoélectrique par Bond Graph est un processus complexe qui nécessite une expertise en modélisation Bond Graph et en conception de dispositifs piézoélectriques. Cependant, en suivant les étapes ci-dessus et en utilisant les outils de Bond Graph, il est possible de créer un modèle mathématique précis et conforme aux spécifications du dispositif.

## III. Lecture de résultat :

En réduisant la dépendance aux piles, elle participe à l'accélération du développement des objets sans fil communicants, en pleine croissance depuis près de dix ans. Le défi de ce type de technologie est de concevoir et fabriquer un dispositif adapté à des sources vibratoires environnantes ayant une fréquence fondamentale très basse et une amplitude relativement faible. De plus, la miniaturisation de ces dispositifs est requise dans certaines applications. Après une synthèse de l'état de l'art des technologies de récupération d'énergie vibratoire, nous avons présenté l'invention concerne la récupération d'énergie électrique dans les terrains de footbolls par l'extrait des vibrations :

**La Figure (1)** présente le système de la poutre 36 mm x 4 mm x 150  $\mu\text{m}$  fabriquée, notre générateur se positionne très bien par rapport à l'état de l'art (150 mg et 44,2 Hz est de 11,6 mW/cm<sup>3</sup>/g).

**La Figure (2)** illustre le système complet, nous pouvons constater que qualitativement le modèle mécanique a bien prédit la réponse électromécanique du générateur. Effectivement, les écarts entre les fréquences de résonance et d'antirésonance sont inférieurs à 0,7% à 0,12V.

**La Figure (3)** présente la modélisation graphique du récupérateur. les fréquences de résonance en vibration prédite par la simulation EF et mesurée sont de 43,1 Hz et 42,2 Hz respectivement, soit un écart de 2,1 % pour une sortie en puissance 1360  $\mu\text{W}$  contre 360,4  $\mu\text{W}$ .

La **Figure (4)** présente l'architecture du module de récupérateur lié à un système autonome sans fil. La modélisation Bond Graph sert à créer la place pour que la masselotte puisse se déplacer librement.

La **Figure (5)** présente l'alimentation par la source de vibration et le stockage dans la batterie pour compenser l'énergie fournie par le générateur au démarrage et donc le système peut fonctionner en mode normal.

La **Figure (6)** présente la puissance produite en fonction de la puissance vibratoire. La tension d'excitation (V) est fixée à une valeur de 0,1 V. La puissance maximale récupérée est de l'ordre de 20W.

#### IV. Application industrielle

Dans notre démonstration, le générateur développé est très performant en ce qui concerne sa bande passante. En effet, le spectre vibratoire dans une application réelle peut varier en fonction du temps, ou des conditions de fonctionnement. Dans ces situations, nous avons développés des techniques plus adaptées pour les générateurs non-linéaires avec des techniques de réglage de la fréquence de résonance. Des circuits de gestion de la puissance plus avancés sont aussi à envisager pour maximiser l'extraction d'énergie électrique récupérée par le générateur et permettre l'adaptation de la fréquence de fonctionnement.

- Les capteurs/objets communicants pourront être rendus entièrement autonomes ;
- Les aspects sur le vieillissement et la robustesse du dispositif dans le temps ;
- Les passages piétons ;
- L'implant contraceptif ;
- les implants médicaux.

#### Références :

- [1] Bani-Hani, M.; Almomani, A.; Aljanaideh, K.; Kouritem, S.A. Mechanical Modeling and Numerical Investigation of EarthquakeInduced Structural Vibration Self Powered Sensing Device. *IEEE Sens. J.* **2022**, preprint. [CrossRef].
- [2] Kouritem, S.A.; Al-Moghazy, M.A.; Noori, M.; Altabey, W.A. Mass tuning technique for a broadband piezoelectric energy harvester array. *Mech. Syst. Signal Process.* **2022**, *181*, 109500. [CrossRef].
- [3] Mohamed, K.T.; El-Gamal, H.A.; Kouritem, S.A. An Experimental Validation of a New Shape Optimization Technique for Piezoelectric Harvesting Cantilever Beams. *Alex. Eng. J.* **2021**, *60*, 1751–1766. [CrossRef].
- [4] Salem, M.S.; Ahmed, S.; Shaker, A.; Alshammari, M.T.; Al-Dhlan, K.A.; Alanazi, A.; Saeed, A.; Abouelatta, M. Bandwidth Broadening of Piezoelectric Energy Harvesters Using Arrays of a Proposed Piezoelectric Cantilever Structure. *Micromachines* **2021**, *12*, 973. [CrossRef].

[5] Sriphan, S.; Vittayakorn, N. Hybrid piezoelectric-triboelectric nanogenerators for flexible electronics: Recent advances and perspectives. *J. Sci. Adv. Mater. Devices* **2022**, *7*, 100461. [CrossRef].

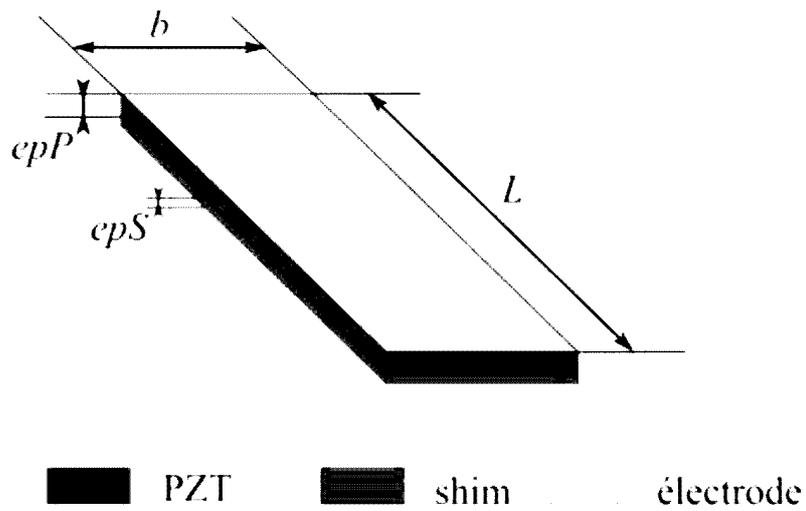
**Dessins et figures :**

Figure 1. Système de la poutre 36 mm x 4 mm x 150  $\mu$ m fabriquée.

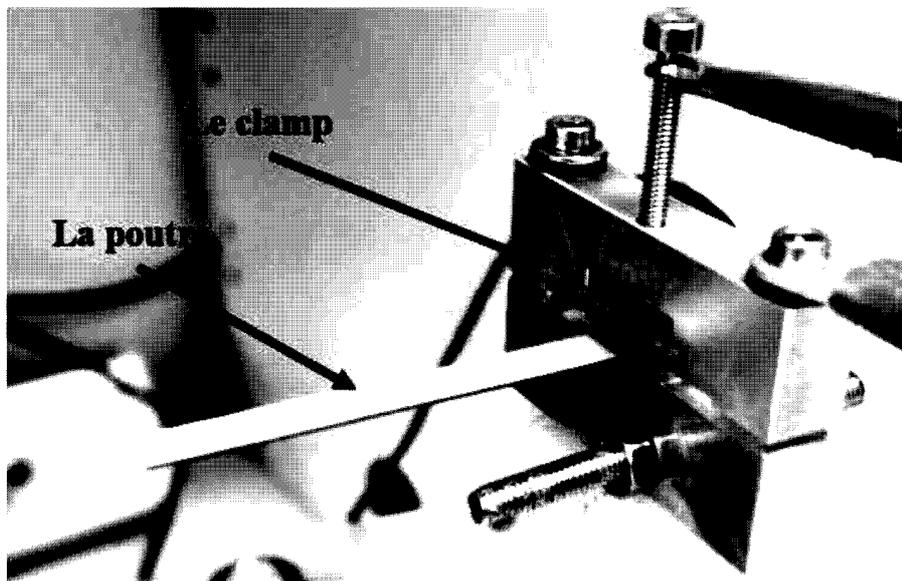


Figure 2. Système récupération en PZT de dimensions 36 mm x 4 mm x 150  $\mu$ m.

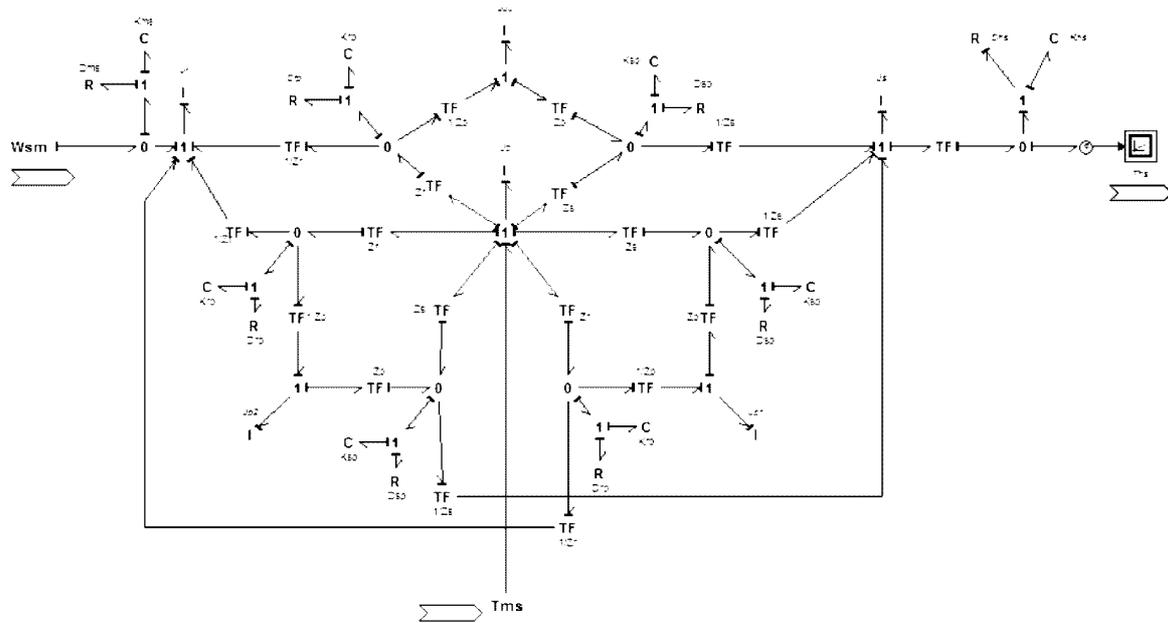


Figure 3. Le modèle BG représente la référence naturelle pour le récupérateur piézoélectrique.

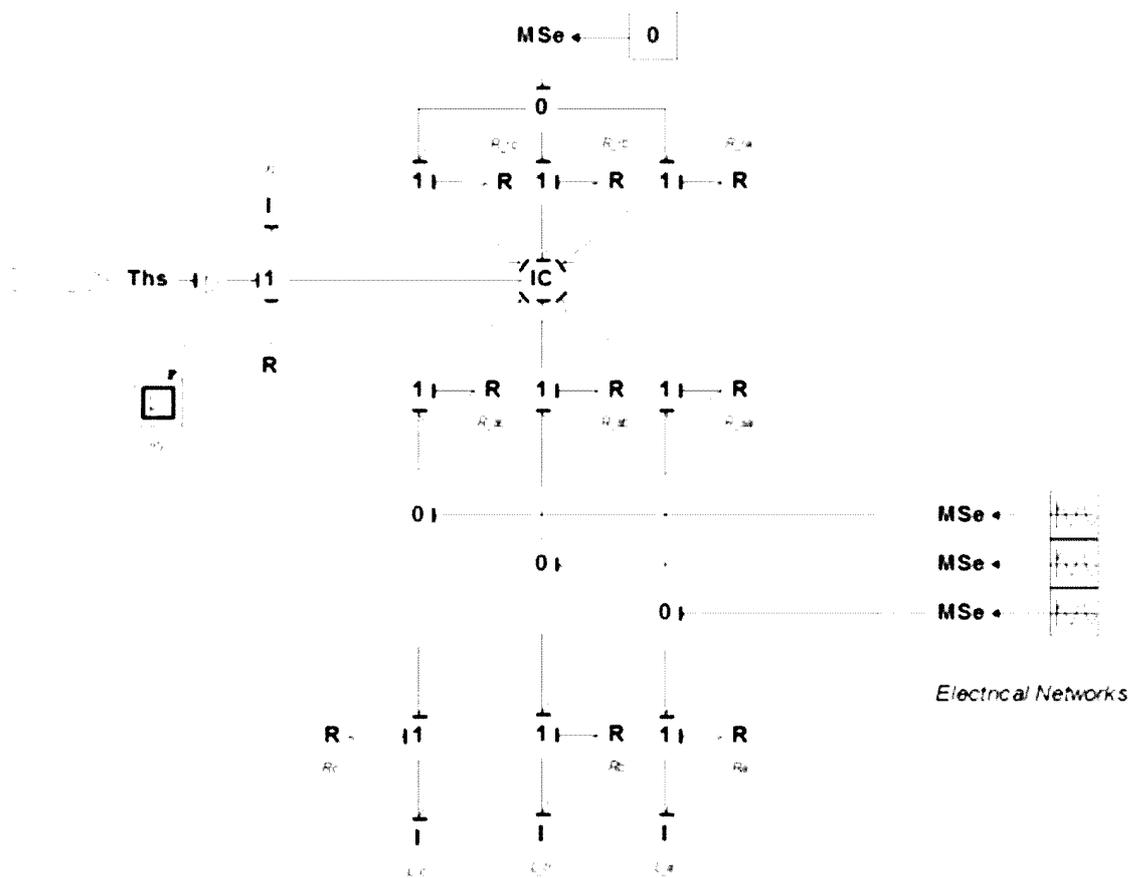


Figure 4. Le schéma du principe du récupérateur d'énergie piézoélectrique développé.

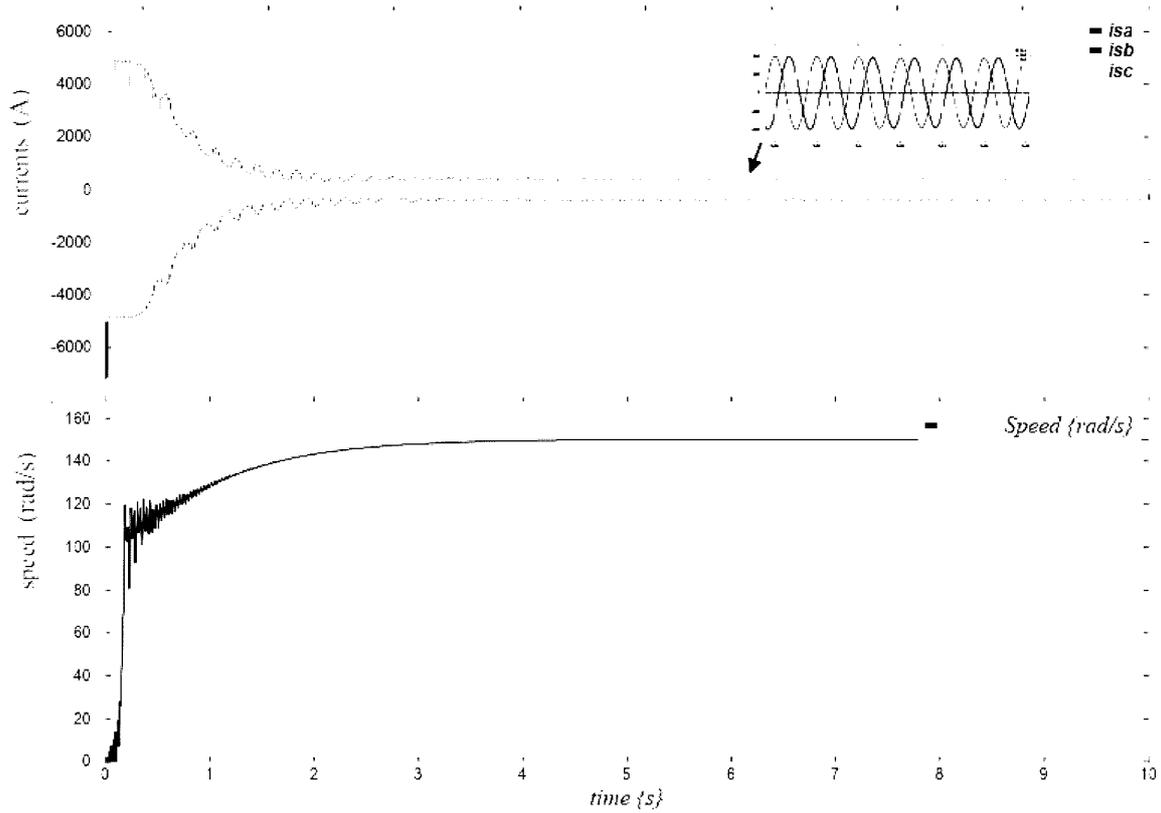


Figure 5. Le courant produit en sortie du récupérateur et la vitesse de rotation du système autonome.

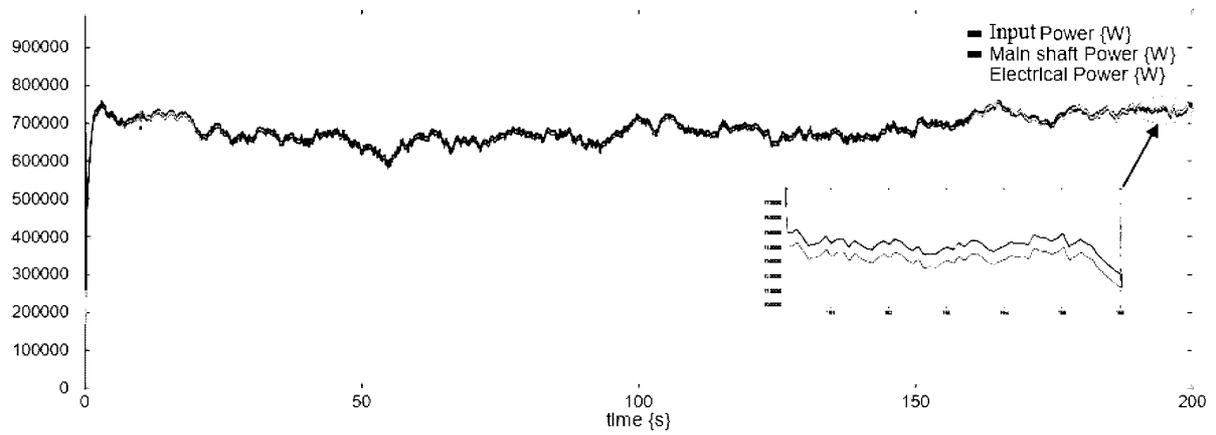


Figure 6. L'énergie produite à l'aide d'une combinaison de matériaux de conversion d'énergie à couche mince avec une conception mécatronique.

**RAPPORT DE RECHERCHE  
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**  
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la  
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée  
par la loi 23-13)

<b>Renseignements relatifs à la demande</b>	
N° de la demande : 60450	Date de dépôt : 17/05/2023
Déposant : UNIVERSITÉ SULTAN MOULAY SLIMANE	
Intitulé de l'invention : SYSTEME DE PRODUCTION D'ENERGIE PIEZOELECTRIQUE DANS LES TERRAINS DE FOOTBALL	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site <a href="http://worldwide.espacenet.com">http://worldwide.espacenet.com</a> , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport	
<input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité	
<input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté	
<input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention	
<input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: Mohamed EL KINANI	Date d'établissement du rapport : 21/07/2023
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	



**Partie 1 : Considérations générales****Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Description  
5 Pages
- Revendications  
6
- Planches de dessin  
3 Pages

**Partie 2 : Rapport de recherche**

Classement de l'objet de la demande :

CIB : H 02N 2/00

CPC : H02N2/186

Plateformes et bases de données électroniques de recherche :

EPOQUENET, WPI, ScienceDirect, IEEE, ORBIT

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
X	Thien HOANG ; Dispositif de récupération d'énergie piézoélectrique : tel-03216575 : modélisation, fabrication et caractérisation ; 06/12/2019	1-6

**\*Catégories spéciales de documents cités :**

-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs

-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

**Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité****Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications aucune Revendications 1-6	Oui Non
Activité inventive	Revendications aucune Revendications 1-6	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-6 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : tel-03216575

**1. Nouveauté et activité inventive**

Le document D1 divulgue un dispositif pour la récupération de l'énergie vibratoire comportant :

- Au moins deux éléments piézoélectriques positionnés de manière à être soumis à des vibrations ou des contraintes mécaniques dans deux directions orthogonales différentes.
- Un circuit électronique de récupération d'énergie connecté auxdits éléments piézoélectriques.
- Un dispositif de stockage d'énergie électrique connecté audit circuit électronique, permettant de stocker l'énergie produite par les éléments piézoélectriques.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 n'est pas nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Le dispositif pour la récupération de l'énergie vibratoire de D1 est caractérisé en ce que :

- i. les paramètres effectifs déterminés à partir de la mesure de l'impédance de la couche PZT en condition « libre- libre ».
- ii. les dimensions et les paramètres géométriques sont :
  - Le maillage : 500 éléments hexaédriques de 0,8 mm x 0,78 mm x 75,4 µm pour la couche PZT et 500 éléments hexaédriques de 0,8 mm x 0,78 mm x 7 µm pour la couche de shim.
  - Les matériaux : les paramètres de la couche PZT sont identifiés dans les paramètres du laiton.
  - Les conditions aux limites : l'échantillon est libre partout, aucune contrainte mécanique n'est appliquée ; l'échantillon est sollicité par une tension alternative de 0,1 V.
  - Étendue du domaine fréquentiel : 40 kHz – 48 kHz avec une précision de 10 Hz.
- iii. Les dispositifs de récupération d'énergie sont encastrés, l'influence du dispositif de serrage sur leur comportement électromécanique et vibratoire est égale aux conditions aux limites.

- iv. La force de serrage de la vis est contrôlée par un système (tournevis) dynamométrique Facom avec un couple de force de  $14.10^{-3}$  N.m. La force de serrage est mesurée grâce à une cellule de charge en compression CM de SOMEKO ; La force mesurée est d'environ 260 N. La surface d'encastrement est de 3 mm x 4 mm.
- v. Le bimorphe est caractérisé en vibration à l'accélération de 10 mg crête-à-crête ; la fréquence de sollicitation varie de 129,7 Hz à 137,7 Hz par pas de 0,1 Hz et la valeur de la résistance varie de 1 k $\Omega$  à 10 M $\Omega$ .

D'où l'objet des revendications 2-6 n'est pas nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

## **2. Application industrielle**

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.