

DISPOSITIFS ÉLECTROMÉCANIQUES PERMETTANT L'EXPLOITATION DE L'ÉNERGIE DES MOUVEMENTS HUMAINS

Sylvie TURRI, Guylaine POULIN

ENS de Cachan (Ecole Normale Supérieure) site de Rennes et de Cachan – Campus de Ker Lann, 35170 BRUZ – 61, av. du Pdt Wilson, 94235 CACHAN

Email : turri@bretagne.ens-cachan.fr – poulin@lesir.ens-cachan.fr

Résumé :

Le corps humain produit constamment de l'énergie (mouvements, respiration, chaleur...), qui est renouvelable, gratuite, non polluante et de durée de vie élevée. L'idée de récupérer une partie de cette énergie, même en faible quantité, n'est pas nouvelle, mais connaît un regain d'intérêt depuis la fin des années 1990, avec l'explosion du marché des appareils électroniques portables. La conversion en énergie électrique nécessite une mise en œuvre spécifique aux ressources, aux solutions technologiques envisageables et aux besoins. Dans cet article, nous nous intéressons aux dispositifs existants ou en cours d'étude exploitant l'énergie des mouvements humains.

1- Introduction.

Le corps humain stocke, dissipe et peut produire une énergie considérable eu égard à la consommation de nos appareils électroniques portables habituels. Il convertit de l'énergie constamment (mouvements, respiration, chaleur...), et on peut considérer qu'il s'agit d'une énergie renouvelable, non polluante et de durée de vie élevée. Même si, bien sûr, une faible part de cette énergie est exploitable, il semble que l'énergie associée aux mouvements du corps humain peut permettre d'approvisionner bon nombre d'applications. Cela requiert de convertir en électricité une partie de l'énergie dépensée, par des moyens à déterminer en fonction des ressources, des solutions technologiques envisageables et des besoins. L'idée d'utiliser l'énergie mécanique de l'homme pour alimenter les systèmes électriques portables n'est pas nouvelle mais elle connaît un regain d'intérêt depuis l'explosion du marché des appareils électroniques portables, soit depuis la fin des années 1990. De nombreuses études et/ou systèmes utilisant l'énergie mécanique humaine existent pour essayer d'améliorer, de réduire, voire supprimer les problèmes de recharge et de dépendance aux réseaux électriques ou aux piles. Dans cet article, nous nous intéressons plus particulièrement aux dispositifs existants ou en cours d'étude exploitant l'énergie des mouvements humains.

2- Estimation des sources potentielles d'énergie du corps humain.

Avant de présenter les différentes applications liées à la récupération de l'énergie humaine ("Human Power"), il est intéressant de rappeler que le corps humain transforme de l'énergie chimique, de l'énergie thermique, de l'énergie mécanique et, dans une moindre mesure, de l'énergie électrique.

Déjà en 1996, T. Starner [1], étudiant au M.I.T., analysait plusieurs sources potentielles d'énergie du corps humain qui peuvent être utilisées pour la conversion électrique.

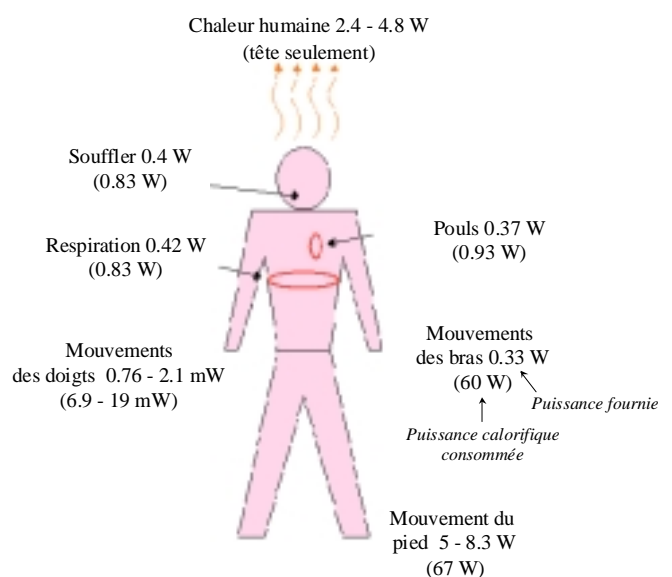


Fig. 1 – Quelques valeurs de puissances produites par le corps humain [1]

Il en a conclu que les mouvements des membres inférieurs, marcher et courir sont les sources de puissance les mieux adaptées pour produire une puissance de quelques watts comme le montre la Fig. 1.

Depuis, l'université de Delft aux Pays-bas s'intéresse à l'énergie produite par l'être humain par rapport à la consommation de certains appareils électroniques. C'est ainsi qu'en 1999, A. Jansen [2] détermine et publie les tableaux suivants (Tab. 1) :

Tab. 1 – Puissance mécanique de quelques activités musculaires

Action	Puissance (W)
Appui sur un bouton avec le pouce	0.3
Action de serrer / déserrer avec la main	6
Tourner une manivelle	21
Faire du vélo à 25 km/h	100

3- Estimation de la consommation de quelques appareils.

Afin de situer les différents dispositifs au niveau de l'utilisation de l'énergie humaine, quelques ordres de grandeurs de la consommation électrique de petits appareils portables sont données dans le Tab. 2.

Tab. 2 – Puissance consommée par quelques appareils électriques portables [2]

Appareil	Puissance électrique consommée	
Petite radio FM	30 mW	
Walkman en Play	60 mW	
Téléphone portable	Appel	2 W
	Veille	35 mW
Lampe électrique de poche	4 W	

4- Les dispositifs électromagnétiques.

Rappelons que de tels appareils ne sont pas nouveaux : les dynamos de vélos pour l'éclairage et les dispositifs à balancier dans les montres génèrent de l'énergie à partir du corps humain par simple prélèvement sur des mouvements naturels.

Les pionniers de ces dispositifs pour s'affranchir des piles sont les montres à énergie cinétique "kinetics" (Fig.2).

Mais une montre ne consomme que très peu d'énergie ! D'où l'apparition d'une nouvelle problématique de recherche, fin des années 1990 : chercher à mieux utiliser l'énergie humaine dans les appareils portables.

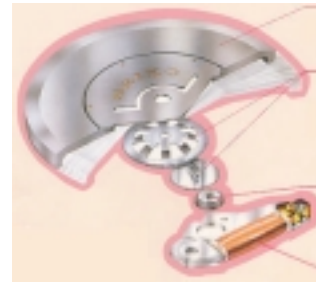


Fig. 2 – Système Kinetics de Seiko [3]

Quelques sociétés et laboratoires de recherche travaillent sur cette problématique.

4.1- Les appareils portatifs.

Il s'agit en général de lampes de poche ou de petites radios.

La plus simple des lampes ne contient pas de stockage d'énergie donc pas de batterie. La lumière est produite par simple action mécanique de la poignée métallique qui se rétracte lorsque l'on appuie dessus (Fig. 3). Cette lampe de poche appelée Forever flashlight est fabriquée aux Etats-Unis et ne pèse que 227g.



Fig. 3 – Forever flashlight [4]

La société Applied Innovative Technology (Etats Unis) commercialise des lampes (Fig. 4) conçues pour la plongée sous-marine qui fonctionnent sur le principe suivant : en secouant la lampe, un aimant se déplace à l'intérieur d'une bobine et crée un courant qui est stocké dans une capacité (Fig. 4).

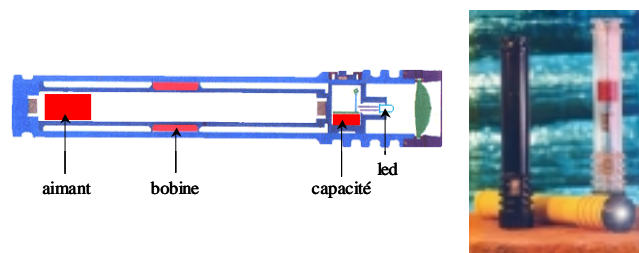


Fig. 4 – Lampe Nightstar flashlight [5]

L'inventeur S. Veterino a choisi de réaliser l'éclairage par une LED, car elle permet de supporter des températures extrêmes, et sa durée de vie est de l'ordre de 100 000 heures. 30 secondes de secousses (avec environ 3 secousses par seconde) créent 5 minutes de lumière intense puis 2 minutes de lumière plus faible. Cette lampe pratiquement incassable pèse environ 390 g.

La société Freeplay Energy (Grande-Bretagne) crée des appareils fonctionnant de manière totalement autonome tels que récepteurs radio, lampes torches et envisage d'autres produits. Cette société s'est lancée dans l'aventure de l'énergie autonome il y a quelques années afin notamment de permettre aux pays africains en voie de développement de ne plus être coupés du monde faute de piles ou de réseau de distribution, en mettant à leur disposition une radio fonctionnant grâce à l'énergie humaine. Un remontage par manivelle accumule de l'énergie mécanique dans un ressort (Fig. 5) qui la restitue ensuite via un générateur électrique. Une partie peut être stockée temporairement dans un accumulateur électrochimique, non représenté sur la Fig. 5.

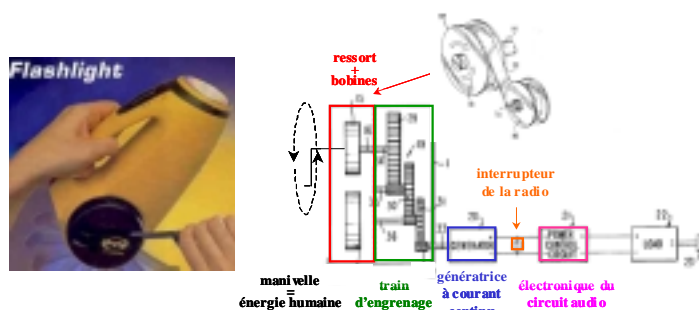


Fig. 5 – Principe de fonctionnement des produits Freeplay [6][7]

Ces appareils entièrement basés sur des systèmes manuels (éventuellement complétés par une génération solaire photovoltaïque) existent depuis 1995. Ils fonctionnent sans aucune pile. Un générateur à ressort se remonte en 20 secondes à l'aide d'une manivelle située au dos pour fournir l'énergie nécessaire à l'écoute de la radio ou à l'éclairage d'une lampe de torche.

On peut citer pour exemples :

- La radio S360 (Fig. 6) fonctionne selon le principe d'un générateur à ressort. Elle est dotée en plus d'une petite batterie

rechargeable qui permet de fournir jusqu'à 15h d'écoute lorsqu'elle est totalement rechargée.



Fig. 6 – Radio Freeplay S360 [7]

Trois sources d'énergie peuvent recharger l'accumulateur : remonter le ressort, recharge sur le secteur ou capteur solaire.

Il est à noter qu'il faut environ 12 à 14 heures pour recharger de façon complète l'accumulateur à l'aide de l'adaptateur 4.5 V, 100 mA. Cette petite radio pèse environ 850 g.

- La lampe Supernova, représentée à la Fig. 7 fonctionne sur le même principe de générateur à ressort. Lorsque la batterie est pleine, elle fournit 2 heures d'éclairage en mode *normal* ou 1 heure en mode *maximal* grâce à une ampoule au xénon à double filament.

L'énergie libérée par le générateur à ressort peut également alimenter directement l'ampoule en mode *normal* pour 4 minutes d'éclairage instantané à partir de 60 tours de manivelle (environ 20 secondes).



Fig. 7 – Lampe Supernova [7]

Cette lampe est également dotée d'une prise de sortie qui permet d'alimenter tout autre appareil fonctionnant avec deux piles 1.5 V. Sa masse est d'environ 2 Kg !

4.2- Les générateurs d'usage général.

Ce sont des générateurs – chargeurs de batterie qui permettent de recharger différents appareils portables. Ces dispositifs de recharge sont créés par la société Nissho Engineering (Japon) [8] [9] [10]. A notre connaissance, deux de leurs dispositifs existent pour l'instant sur le marché.

Le dispositif appelé Aladdin Power fonctionne, comme le montre la Fig. 8, en serrant et relâchant un levier qui actionne un train d'engrenages et amplifie la vitesse de rotation de la génératrice. Celle-ci peut fournir jusqu'à 1,6 W pour 90 mouvements (serrer / relâcher) par minute.

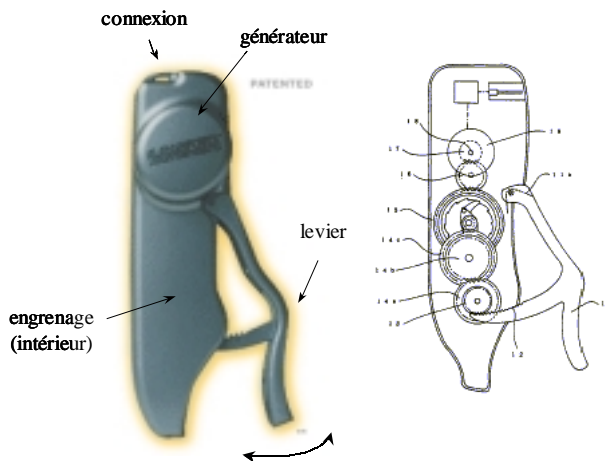


Fig. 8 – L'Aladdin Power et son principe de fonctionnement [10]

Si l'on prend l'exemple d'un téléphone portable, 3 minutes de mouvements permettent de générer environ 20 minutes d'appel. Cet appareil pèse 111 g et sa liaison avec un téléphone se fait par un cordon allume cigarette.

Le Stepcharger basé sur le même principe, permet (Fig. 9) de générer une puissance de sortie comprise entre 0 et 6 W pour une tension continue de 18 V, en actionnant la pédale avec le pied.

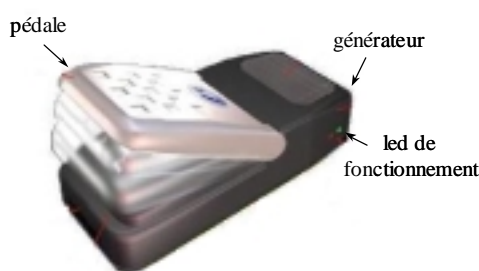


Fig. 9 – Stepcharger [9]

4.3- Les applications spécifiques aux téléphones portables.

Deux sociétés concurrentes travaillent sur des dispositifs réservés à la recharge des téléphones portables.

D'une part, les sociétés Freeplay Energy et Motorola se sont associées pour développer une source d'énergie manuelle afin de recharger les téléphones portables. La mise en vente était prévue fin 2001 (Fig. 10). 45 secondes de tours de manivelle permettent de produire 3 à 6 minutes d'appel et plusieurs heures de veille (3 à 4h).

Cette "alimentation" de la taille d'un téléphone portable a une masse de 200 g, et sera vendue avec un cordon de liaison.



Fig. 10 – FreeCharge [11] [12]

D'autre part, la société Nissho Engineering propose une génératrice constituée d'une ficelle enroulée autour d'un tambour, fonctionnant tel un lanceur de moteur de tondeuse à gazon sans batterie. Le dispositif (Fig. 11) peut être utilisé soit en lampe de poche grâce à la présence d'une LED, ou soit pour recharger les téléphones portables par connexion directe au niveau de l'adaptateur des téléphones. Il contient une batterie optionnelle Li-ion qui se recharge en 500 mouvements.

Si le mécanisme est actionné 60 fois par minutes, il fournit une puissance comprise entre 2,5 et 3,5 W.

Ce nouvel appareil est protégé par un brevet.



Fig. 11 – Tup Power [13]

4.4- Les applications spécifiques aux ordinateurs portables.

La société Compaq Computer Corporation à Houston a déposé un brevet [14] pour un clavier d'ordinateur. Chaque touche est munie à sa base d'un aimant qui, lorsqu'on appuie sur la touche, s'enfonce dans une bobine et joue le rôle de mini-générateur de courant permettant la charge d'un condensateur (Fig.12).

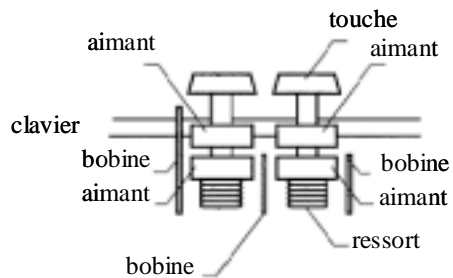


Fig. 12 – Brevet Compaq [14]

Les promesses de ce système sont :

- une durée d'utilisation du portable de 10 heures pour une seule charge de batterie (contre 2h30 de durée actuellement) ;
- une diminution du poids des ordinateurs grâce à une batterie moins volumineuse (1,5 kg au lieu de 1 kg).

4.5- Les nouveaux débouchés.

Le système d'énergie cinétique utilisé dans les montres sans piles (autoquartz) de la marque japonaise Seiko depuis 1988 ou les micro générateurs à système "kinetic" de la société néerlandaise Kinetron utilisés depuis 1989 dans plusieurs marques de montres (Swatch, Omega, Tissot, Longines, Bulova et Jean d'Eve) n'ont plus à faire leurs preuves.

A travers le projet WEOS [15], la firme Seiko démontre que le système basé sur l'énergie cinétique peut trouver de nouvelles applications en dehors de la montre. En effet, en 2002, les baleines bleues suivies dans le cadre du projet international WEOS (Whale Ecology Observation Satellite System) porteront une sonde développée par l'Institut Technologique de Chiba au Japon [15].

Le mouvement mécanique continu créé par la nage des baleines permettra de recharger, via un générateur électrique, une batterie de 5 W.

La sonde émettra pendant 2 ou 3 ans avant de se détacher d'elle-même

De la même façon, la société concurrente Kinetron recherche de nouveaux champs d'application, et réalise des études sur les aides auditives, les pacemakers, les serrures électroniques ou certains types d'appareils portables. Pour l'instant, une de leurs nouvelles applications est l'utilisation d'une micro génératrice [16] placée dans la pédale d'une bicyclette, qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique afin de réaliser l'éclairage par des LED (Fig. 13).



Fig. 13 – Pedal-light [16]

4.6- Les recherches actuelles.

Les chercheurs du M.I.T.¹ ont testé un système magnétique : un générateur rotatif, placé dans la semelle de la chaussure (Fig. 14). Certes la puissance récupérée atteint 60 mW, mais le dispositif est complexe, fragile et cher. De plus, il présente une gêne pour l'utilisateur.

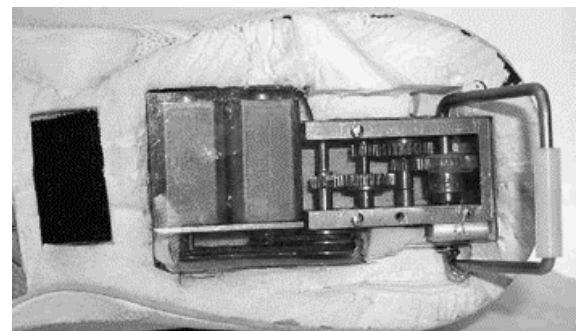


Fig. 14 – Générateur rotatif du M.I.T. [17]

The Electric Shoe Company [18] a été créée par T.G. Baylis (l'inventeur de la radio "à ressort" Freeplay) en collaboration avec DERA² et Texon International (J. Grantham), un fabricant mondial de matériaux pour les chaussures. Un projet d'étude vient de démarrer : il s'agit d'un appareil électromécanique miniature, tel une dynamo dans le talon de la chaussure, qui tournerait lors du choc de la chaussure sur le sol.

4.7- Conclusion.

Dans ce paragraphe, nous venons de voir les différents dispositifs électromécaniques exploitant l'énergie des mouvements humains. Nous pouvons constater qu'ils utilisent deux types de mouvements : les mouvements réalisés de façon naturelle, qui sont malheureusement contraignants pour les systèmes et donc peu utilisés, et les mouvements réalisés de façon volontaire, qui ont l'inconvénient de contraindre l'individu à être mobilisé pendant cette action et qui peuvent entraîner une gêne. Cette gêne est tolérable si les performances des dispositifs sont correctes.

Or, à titre d'exemple, une étude [19] sur une radio portative commercialisée par la société Freeplay (représenté à la Fig. 6), montre que le rendement (Fig. 15) de la chaîne de conversion "énergie électrique - énergie mécanique" est d'environ 30%.

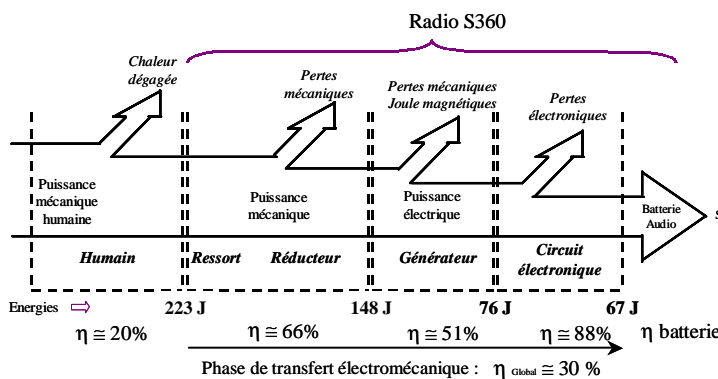


Fig. 15 – Bilan énergétique global de la radio Freeplay S360

Il reste des progrès notables à faire pour obtenir des dispositifs électromécaniques à bon rendement. Par exemple, une structure mécanique simple permettrait un gain de rendement et de poids. Mais il semble important de noter que la limite envisageable pour la puissance à recharger est déterminée par la fatigue musculaire.

5- Les dispositifs piézoélectriques.

Deux groupes de recherche travaillent sur des dispositifs capables de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique, par effet piézoélectrique.

5.1- La piézoélectricité.

La piézoélectricité est la propriété que présentent certains corps de se charger électriquement lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique (effet direct) et, réciproquement, de se déformer sous l'action d'un champ électrique (effet inverse) (Fig.16).

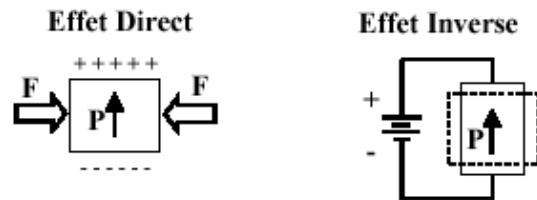


Fig. 16 – L'effet piézoélectrique [20].

Des monocristaux dépourvus de centre de symétrie, tels le quartz, sont naturellement piézoélectriques. Par une polarisation appropriée, certains matériaux le deviennent : ces matériaux, ferroélectriques, présentent d'excellentes caractéristiques piézoélectriques. Leur déformation relative peut atteindre 0,1% , et ils sont habituellement utilisés comme actionneurs ou capteurs. Deux types de matériaux sont à distinguer : les céramiques, dont les plus connues sont du type zircotitanate de plomb (PZT) ; et les polymères, moins rigides que les 1ers, utilisés comme capteurs, par exemple le polyvinylidène difluoré (PVDF). A une température, dite de Curie, il n'existe plus de polarisation macroscopique et la céramique perd toutes ses propriétés piézoélectriques.

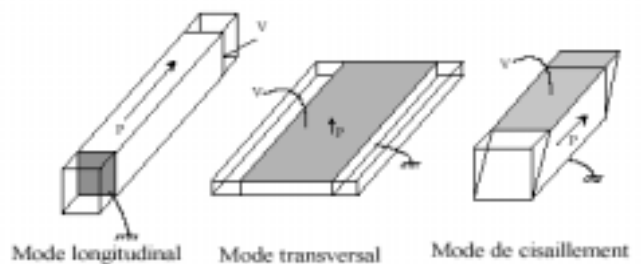


Fig. 17 – Les modes de vibration [20]

Considérons un barreau piézoélectrique soumis à un champ électrique ; ce barreau va subir une variation en épaisseur mais aussi en longueur, ou une déformation en cisaillement, en flexion ou en torsion (Fig. 17).

A chaque type de déformation, ou mode de vibration, défini par rapport à l'axe de

référence qu'est la direction de polarisation du matériau, est associé un coefficient piézoélectrique propre. Le choix des rapports géométriques du barreau permet de privilégier un mode spécifique. Deux modes sont particulièrement intéressants : le mode longitudinal (un champ appliqué dans la direction de polarisation provoque une déformation dans la même direction, et réciproquement) ; le mode transversal (un champ appliqué dans la direction de polarisation provoque une déformation dans une direction orthogonale, et réciproquement). En matière de récupération d'énergie mécanique, un 1^{er} choix peut se porter sur le mode longitudinal ; mais, pour une même quantité de charges, le mode longitudinal fait intervenir une force bien supérieure à celle du mode transversal. C'est pourquoi les divers groupes de recherche ont abouti au choix du mode transversal.

5.2- Le M.I.T.

J. Paradiso travaille en collaboration avec la DARPA³. Il a mis au point 2 types de dispositifs piézoélectriques : un prototype de touche, en vue d'un système complet comparable au brevet Compaq, et une chaussure piézoélectrique.

5.2.1- Les touches piézoélectriques.

Le clavier d'ordinateur mis au point par A. Crisan [14] n'a pas tardé à inspirer l'équipe de J. Paradiso : ne pourrait-on pas associer à chaque touche un barreau piézoélectrique, dont les avantages sont, rappelons-le, la compacité, la simplicité et le faible coût ?

Dans un 1^{er} temps, les chercheurs ont réalisé un démonstrateur simple [21] : un bouton-poussoir alimentant un émetteur destiné à l'identification par radiofréquence (RFID) (Fig. 18).

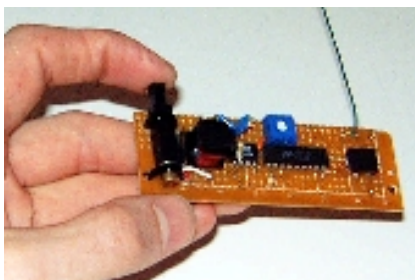


Fig. 18 – Emetteur ID prototype [21]

L'élément piézoélectrique, après l'impact, vibre à la résonance, afin de maximiser le rendement de la conversion mécano-électrique. Un transformateur abaisse la tension et joue le rôle de self d'accord. A ce stade de conversion, le rendement est de 7%, pour 2 mJ générées à chaque pression. En sortie du régulateur de tension, il reste 0,5 mJ sous 3 V pour alimenter l'ensemble encodeur-transmetteur, qui consomment 150 μ J pendant la transmission de 20 ms.

Même si ce démonstrateur simple fonctionne, il reste à améliorer le rendement, mais aussi à étudier le vieillissement des barreaux piézoélectriques, soumis à des impacts répétés qui peuvent entraîner des micro-craquelures du matériau.

Cependant, les perspectives sont nombreuses et alléchantes : systèmes portables autonomes, allant de l'ordinateur aux systèmes d'identification.

5.2.2- Les chaussures piézoélectriques.

L'équipe du M.I.T. a comparé deux dispositifs du point de vue de la puissance générée lors de la marche (fréquence 0,9 Hz) :

- une feuille de PVDF flexible, placée dans la semelle, récupère l'énergie des mouvements de flexion pendant chaque pas. Energie récupérée (charge adaptée de 250 k Ω) : 1,3 mW.
- un dispositif formé de 2 rubans précontraints et incurvés de céramique PZT, appelé « dimorphe », placé dans le talon. Energie récupérée (charge adaptée de 500 k Ω) : 8,4 mW.

Le dimorphe a donc été choisi pour réaliser un démonstrateur, un émetteur destiné à l'identification par radiofréquence (RFID), travail sur lequel N. S. Shenck a réalisé sa thèse [22], [17] (Fig. 19).

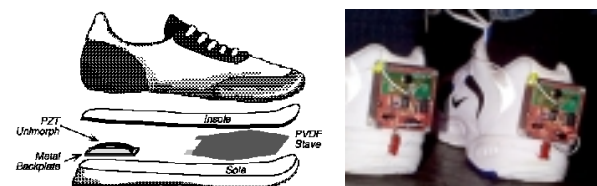


Fig. 19 – Implantation du matériel piézoélectrique dans la chaussure et vue du convertisseur de remise en forme de la tension [23]

L'électronique destinée à la récupération d'énergie pose un problème, car une source piézoélectrique est purement capacitive à basse fréquence, donc délivre de fortes tensions (10^2 V) et de faibles courants (10^{-7} A). Un schéma de régulation linéaire est inefficace, car ici les tension et courant de sortie sont très différents des tension et courant d'entrée. Au contraire, un convertisseur statique de type forward réalise une conversion de puissance et d'impédance. Cependant un système piézoélectrique présente des caractéristiques et des conditions initiales particulières, qui ne permettent pas l'utilisation des circuits intégrés commercialisés.

Le principe de fonctionnement du système est le suivant : la tension générée par le matériau piézoélectrique charge, via le convertisseur forward, une capacité de stockage (Fig. 20). La commande des interrupteurs est réalisée de telle sorte que les charges apparues à chaque cycle de pas sont recueillies à chaque maximum (ou minimum) de déformation du dispositif mécanique, ce qui garantit un fonctionnement optimal. Le rendement global atteint alors 17,6%, et la puissance fournie, 1,3 mW pour une fréquence de marche de 0,8 Hz.

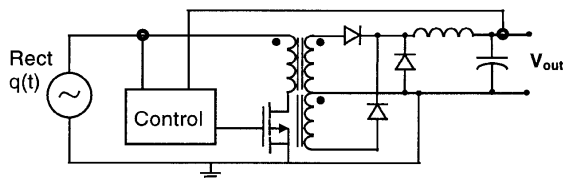


Fig. 20 – Topologie du convertisseur forward hybride pour la remise en forme des signaux [22]

Des améliorations sont nécessaires, concernant l'intégration des composants, ce qui diminuerait les pertes, mais aussi l'adaptation mécanique entre la chaussure et l'élément piézoélectrique.

L'objectif consiste à élaborer des dispositifs efficaces et modulables : l'utilisateur achèterait le convertisseur piézoélectrique et l'électronique associée en 2 modules séparés, et remplaçables par des modules neufs ou plus performants.

5.3- The Electric Shoe Company.

Comme les chercheurs du M.I.T., ils ont mis au point un dispositif piézoélectrique, inséré dans le talon des chaussures, qui génère assez d'électricité pour recharger la batterie d'un téléphone portable. Des chaussures expérimentales (Fig. 21) ont été testées en juin 2000 lors d'une marche de 120 km à travers le désert de Namibie, au terme de laquelle une communication à partir du portable rechargé a été un succès.

L'efficacité du dispositif reposerait sur un système d'amplification mécanique, par lequel la force est appliquée sur l'axe maximum de conversion du matériau piézoélectrique (mode longitudinal). Le coefficient de couplage atteint 70% alors qu'il est de 30% seulement pour le mode transversal. A l'aide d'une électronique passive miniaturisée, l'énergie électrique est conditionnée, ce qui permet d'atteindre des puissances bien supérieures aux 2 mW habituels.



Fig. 21 – Chaussures expérimentales testées dans le désert [18]

The Electric Shoe Company envisage également de consacrer des recherches autour de dispositifs inductif, magnétostrictif et biomécanique.

A terme, le but est de mettre au point des vêtements intelligents, où diverses fonctions augmenteraient la force et l'endurance de l'utilisateur, grâce à des systèmes portables autonomes (positionnement, éclairage, chauffage). Cela explique que les études ont commencé dans le domaine militaire, mais visent déjà un autre public, comme en témoigne la création de la société The Electric Shoe Company.

5.3- Conclusion.

Les chercheurs du M.I.T. et de The Electric Shoe Company semblent avancer vers un même but, et ont déjà obtenu des résultats encourageants. Cependant il est évident que leurs dispositifs prototypes doivent être

améliorés, et ceci aux deux étapes successives de conversion :

- de l'énergie mécanique en énergie électrique ;
- de l'énergie électrique récupérée en énergie électrique stockée et/ou utilisable pour l'application envisagée.

La 2^{ème} étape est délicate car les circuits intégrés commercialisés sont inadaptés à ce type de source (fortes tensions et faibles courants). C'est toute l'électronique associée qui doit être repensée.

Quant à la 1^{ère} étape, si l'on considère le cas des chaussures, deux points au moins restent à approfondir afin d'améliorer le rendement global du dispositif : garantir une bonne adaptation du matériau piézoélectrique à la chaussure, et utiliser un amplificateur mécanique. Concernant l'amplification mécanique, les Technologies CEDRAT⁴ [24], spécialisées dans les applications des matériaux actifs en génie électrique, ont mis au point des Actionneurs Piézoélectriques Amplifiés (APA) performants (Fig. 22) : le principe est un barreau piézoélectrique précontraint et encastré dans une carcasse symétrique (pas de couples de torsion) déformable, permettant une amplification mécanique de 10, et ce avec une durée de vie excellente (10^{10} cycles).



Fig. 22 – Exemples d'APA (CEDRAT) [24]

Cette gamme d'actionneurs peut parfaitement être utilisée pour la génération d'énergie, et améliorer le rendement global de conversion.

6- Conclusion générale.

L'expansion des appareils portables et de leurs domaines d'utilisation créent une servitude pour l'utilisateur. Les batteries et accumulateurs n'offrent pas toutes les caractéristiques d'autonomie et de fiabilité nécessaires à un fonctionnement optimal, et

sont un facteur de pollution de l'environnement. Ces inconvénients sont devenu omniprésents aujourd'hui, ce qui entraîne un regain d'intérêt envers les dispositifs permettant la récupération d'une partie de l'énergie naturellement dissipée par l'homme. La possibilité de réaliser de tels systèmes est aidée par la diminution de la consommation électrique des appareils portatifs, autre défi technologique. Cependant, ils nécessitent des solutions technologiques innovantes et performantes en terme de rendement.

Afin de prendre en compte tous ces facteurs, des équipes de chercheurs tentent d'améliorer les dispositifs existants, et de trouver des concepts nouveaux, qui feront peut-être partie intégrante des technologies futures.

L'alimentation en énergie des objets portables représente un véritable défi en termes d'autonomie et d'ergonomie.

7- Bibliographie.

- [1] STARNER T., « Human-Powered Wearable Computing », IBM Systems Journal, Vol. 35, pages 618-629, 1996.
- [2] JANSEN A.J., STEVELS A.L.N., « Human Power, a sustainable option for electronics », Electronics and the Environment, Proceedings IEEE International Symposium on, 1999, pages 215-218.
- [3] Seiko, Thermic : la technologie de la chaleur, site web : <http://www.seiko.fr/cadres/techno.htm>
- [4] Great Lakes Marine Specialties, Minneapolis, US, Annonce Forever, site web : <http://www.navstore.com/forever.asp>
- [5] Applied Innovative Technologies, US, Annonce Nightstar Flashlight, site web : <http://www.nightstar1.com>.
- [6] BAYLIS T.G. « Spring operated current generator for supplying controlled electric current to a load », Baylis Generators Limited, Twickenham, Grande Bretagne - Brevet N° US 5917310, 29 juin 1999, 18 pages.
- [7] Freeplay Energy, Grande Bretagne, site web : <http://www.freeplay.net>.
- [8] « Mini générateur ou appareil de musculation ? » Electronique International Hebdo, 5 juillet 2001, N°441, page 45.
- [9] Nissho Engeneering (Japon), US, Annonce Aladdin Power, Stepcharger, Site web : <http://www.aladdinpower.com>

- [10] KOMEZUMI T., HIRAKUI K; « *Portable Manual Generator.* », Nissho Engineering, Japon - Brevet N° WO 0131764, 3 mai 2001, 30 pages.
- [11] Motorola, US, Annonce publi-information, <http://commerce.motorola.com/consumer/QWhtml/freecharge.html>
- [12] Freeplay Energy, Grande-Bretagne, site web : <http://www.freeplay.net/new/newsite/product/freecharge.html>
- [13] Nissho Engineering, Japon, Annonce Tup-Power, Site web : <http://www.nseg.co.jp/english2/products/tug/syousai.htm>
- [14] CRISAN A.; « *Typing power* »; Compaq computer Corporation, Houston, US; Brevet N° US 5911529, 15 juin 1999, 9 pages.
- [15] Seiko. « *L'alimentation par le mouvement sort de la montre* » ; Electronique International Hebdo. 1 septembre 2001 ; N°442, page 43.
- [16] Kinetron, New applications, site web : http://www.kinetron.nl/d_newapp/d1.htm
- [17] SHENCK N.S., PARADISO J.A., « *Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics.* », IEEE Micro, Volume 21, Issue 3, May-June 2001, pages 30-42, site web: http://www.computer.org/micro/homepage/may_june/shenck/
- [18] The electric Shoe compagny, Grande Bretagne, site web : <http://www.theelectricshoeco.com/>
- [19] TURRI S., BEN HAMED H., CAVAREC P.E., DELAMARCHE P., MILLER D., MULTON B., MULTON F, Présentation des résultats des travaux de l'Action Spécifique CNRS-STIC Energie Portable, 18 janvier 2002, Cachan.
- [20] VASIC D., HALLAERT S., SARRAUTE E., COSTA F., « *Le transformateur piézoélectrique, principe et applications* », La revue 3E.I, N°26, septembre 2001.
- [21] PARADISO J.A., FELDMEIERS M., « *A compact, wireless, self-powered pushbutton controller.* », site web: <http://www.media.mit.edu/resenv/pubs/papers/UbiComp-Switch-submitted.pdf>
- [22] SHENCK N.S., « *A Demonstration of Useful Electric Energy Generation from Piezoceramics in a Shoe.* », Thèse Massachusetts Institute of Technology, Mai 1999, site web : <http://www.media.mit.edu/resenv/papers.html>
- [23] PARADISO J., « *Renewable Energy Sources for the Future of Mobile and Embedded Computing.* », Computing Continuum Conference, San Francisco, CA, 16 mars 2000, site web: <http://www.media.mit.edu/resenv/papers.html>

- [24] Technologies CEDRAT, France, Site web : <http://www.cedrat.com/>

¹ MIT Media Laboratory : Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Etats-Unis, Site web : <http://www.media.mit.edu/resenv/index.html> , le MIT Media Lab travaille pour la DARPA.

² DERA : Defense Evaluation and Research Agency, département R&D du Ministère de la Défense, Grande-Bretagne, Site web : http://www.dera.gov.uk/newsite/home_2.htm

³ DARPA : Defense Advanced Research Project Agency, département R&D du Ministère de la Défense, Etats-Unis, Site web : <http://www.darpa.mil/>

⁴ CEDRAT : Technologies CEDRAT, Entreprise spécialisée dans les applications des matériaux actifs en Génie Électrique, Grenoble France, Site web : <http://www.cedrat.com/>