



HAL
open science

Caractérisation d'un générateur portable : de l'énergie humaine à l'électricité

Sylvie Turri, Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed, Dominique Miller, Franck Multon, Paul Delamarche

► **To cite this version:**

Sylvie Turri, Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed, Dominique Miller, Franck Multon, et al.. Caractérisation d'un générateur portable : de l'énergie humaine à l'électricité. GEVIQ, Jun 2002, MARSEILLE, France. pp.11-16. hal-00674670

HAL Id: hal-00674670

<https://hal.science/hal-00674670>

Submitted on 27 Feb 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation d'un générateur portable : de l'énergie humaine à l'électricité

S. Turri, B. Multon, H. Ben Ahmed, D. Miller¹
F. Multon, P. Delamarche²

¹ LÉSIR-SATIE UMR CNRS 8029 Antenne de Bretagne ENS de Cachan – Campus de Ker Lann 35170 BRUZ.

² Laboratoire de Biomécanique et de Physiologie de l'exercice musculaire – Université de Rennes 2 – 2, av. Charles Tillon, 35044 RENNES.
Email : Sylvie.Turri@bretagne.ens-cachan.fr

Résumé – Dans cet article, nous nous intéressons à la problématique de l'alimentation des appareils portables liée à la consommation d'accumulateurs et à la dépendance des recharges sur secteur. Le corps humain produit de l'énergie renouvelable, non polluante et de durée de vie élevée : entre chaleur dégagée, lumière reçue et énergie mécanique disponible, cette dernière est déjà exploitée dans diverses applications portables, comme les postes de radio, les lampes ou plus récemment les téléphones portables. Nous proposons dans cet article, une analyse expérimentale d'un générateur intégré dans un poste de radio afin d'en évaluer les avantages et inconvénients puis de proposer des améliorations.

Mots-clés – Production d'énergie, énergie humaine, système électromécanique, générateur portable.

I. INTRODUCTION

Les systèmes électriques ou électroniques portables constituent un marché en très forte croissance comme le montre l'évolution rapide du marché des accumulateurs [1], et de leurs performances.

La consommation énergétique de ces systèmes est liée aux fonctions à réaliser (éclairage, réception-émission radiofréquence, microprocesseurs,...). Malgré les progrès de consommation spécifique et d'autonomie des accumulateurs, la croissance du nombre de fonctions ne conduit pas aux baisses de consommation espérées.

Depuis une dizaine d'année, une nouvelle problématique émerge : celle de l'alimentation directe des appareils portables à partir de l'énergie (renouvelable) produite dans l'environnement humain [2]. Entre chaleur dégagée, lumière reçue et énergie mécanique issue des mouvements humains, cette dernière est très intéressante [3], [4], [5].

II. APPLICATIONS PORTABLES ALIMENTÉES PAR DES MOUVEMENTS HUMAINS

On peut classer les mouvements exploitables pour la production d'énergie en deux catégories :

- ceux réalisés de façon naturelle, comme, par exemple, dans les montres de type automatique-électrique (ex. Kinetics de Seiko, figure 1).



Figure 1. Générateur à masselotte oscillante pour montre (Kinetics de Seiko)

Dans ce cas, on ne récupère qu'une très faible partie de l'énergie cinétique disponible, mais dans une montre, la consommation est très basse et cela convient très bien.

- ceux réalisés de façon volontaire, qui ont l'inconvénient de mobiliser l'individu pendant l'action et qui peuvent entraîner une fatigue. Ces mouvements sont notamment utilisés dans certains postes récepteurs de radio, des lampes de poche et plus récemment pour des chargeurs de téléphones mobiles (Motorola-Freeplay).

Nous présentons ci-dessous, une liste non exhaustive de systèmes exploitant l'énergie humaine issue de mouvements volontaires. Notons que deux sociétés concurrentes dominent le marché des systèmes électromécaniques : Freeplay Energy en Grande Bretagne et la société nippone Nissho Engineering.

A. Les appareils portatifs.

La société Freeplay Energy conçoit des appareils fonctionnant de manière totalement autonome tels que récepteurs radio, lampes torches et envisage d'autres produits. Un remontage par manivelle accumule de l'énergie mécanique dans un ressort (figure 2) qui la restitue ensuite via un générateur électrique. Une partie peut être stockée temporairement dans un accumulateur électrochimique, non représenté sur la figure 2.

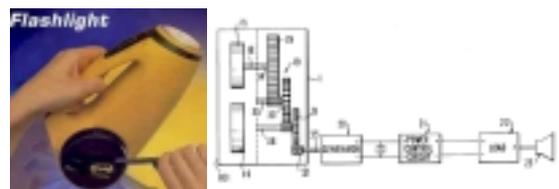


Figure 2. Principe de fonctionnement des produits Freeplay [6], [7]

Ces appareils (éventuellement complétés par une génération solaire photovoltaïque) existent depuis 1995. Ils fonctionnent sans aucune pile. Un générateur à ressort se remonte en quelques dizaines de secondes à l'aide d'une manivelle située au dos pour fournir l'énergie nécessaire.



Figure 3. Récepteur de radio Freeplay S360, objet de l'article.

On peut citer pour exemples :

- La radio S360 (figure 3) qui a servi de support à l'étude énergétique présentée dans cet article. Elle est dotée en plus d'une petite batterie électrochimique qui permet de fournir jusqu'à 15h d'écoute lorsqu'elle est totalement rechargée (remontage, cellules photovoltaïque ou adaptateur secteur). Cette petite radio pèse environ 850 g.

- La lampe Supernova 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).

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 !

B. 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].

Le dispositif appelé Aladdin Power fonctionne, comme le montre la figure 4, en serrant et relâchant un levier qui actionne, via un train d'engrenages multiplicateur de vitesse, une génératrice. Celle-ci peut fournir jusqu'à 1,6 W pour 90 mouvements (serrer / relâcher) par minute.

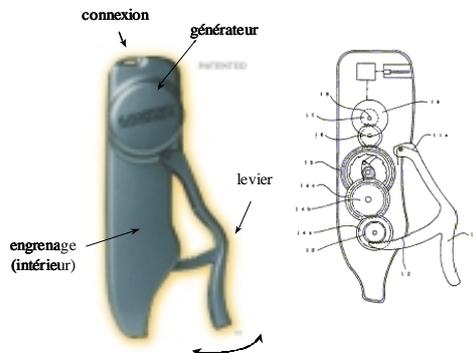


Figure 4. L'Aladdin Power et son principe de fonctionnement [9], [10]

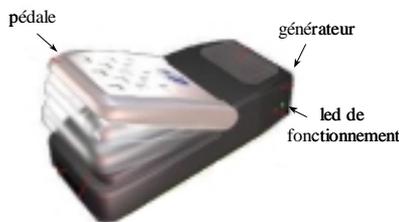


Figure 5. Stepcharger [9]

Le Stepcharger basé sur le même principe, permet (figure 5) 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.

C. Les générateurs pour les téléphones portables.

Les deux sociétés précédentes 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 mobiles (figure 6). La mise en vente a débuté fin 2001. Un remontage de 45 secondes permet 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.



Figure 6. Système FreeCharge pour téléphone mobile [11]

D'autre part, la société Nissho Engineering propose une génératrice constituée d'une ficelle enroulée autour d'un tambour, fonctionnant tel un démarreur manuel de moteur thermique. Le dispositif (Figure 7) peut être utilisé soit en lampe de poche grâce à la présence d'une LED, soit pour recharger les téléphones 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 minute, il fournit une puissance comprise entre 2,5 et 3,5 W.



Figure 7. Tug Power pour telephone mobile [12]

III. DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE CONVERSION COMPLETE DE LA RADIO FREEPLAY

L'objectif du travail présenté ici était de réaliser l'analyse quantitative d'une chaîne de conversion "énergie mécanique - énergie électrique" afin d'établir le bilan énergétique complet pour déterminer les possibilités d'un tel système ainsi que son potentiel d'amélioration. Pour cela, nous avons choisi d'expérimenter le système de radio portative commercialisé par la société Freeplay (figure 3) qui transforme de l'énergie mécanique (manivelle) en énergie électrique.



Figure 8. Manivelle, train d'engrenages et génératrice à courant continu

La manivelle entraîne un enrouleur qui, lors du remontage, fait passer d'une bobine à une autre un ressort précontraint en acier au carbone, accumulant ainsi de l'énergie mécanique. Libéré, le ressort tend à revenir, sur sa bobine initiale, à la position d'origine en restituant l'énergie mécanique emmagasinée, via un train d'engrenages, à une génératrice à courant continu (figure 8). L'énergie électrique, non utilisée sur le champ, est stockée dans une batterie NiCd (2 éléments).

Les autres sources, panneau photovoltaïque ou adaptateur sur secteur (4.5 V, 100 mA) permettent également de recharger l'accumulateur. Cependant la surface du panneau photovoltaïque situé au dessus de l'appareil nécessite, pour avoir une réelle efficacité d'alimentation de la radio, d'être exposée en plein soleil.

Les différents éléments, qui entrent en jeu, sont présentés à la figure 9. Le système fonctionne avec deux phases de conversion. La première, appelée remontage, consiste uniquement à accumuler de l'énergie dans le ressort. La seconde phase, appelée déroulement, conduit au transfert de l'énergie accumulée dans le ressort, via un multiplicateur de vitesse et un générateur à aimants permanents à collecteur vers le circuit électrique comprenant un accumulateur électrochimique en tampon, non représenté sur la figure 9.

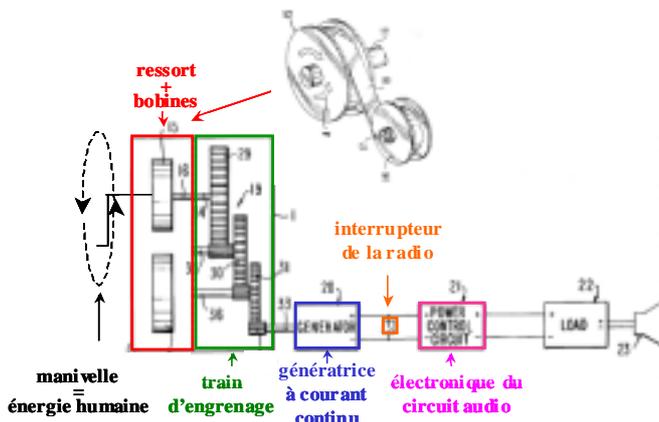


Figure 9. Schéma général du système étudié [6]

A. Caractéristiques des éléments de la chaîne de conversion.

- Masse du ressort et des 2 bobines : $M_{\text{ressort}} = 366\text{g}$
- Nombre de tours permettant au ressort d'être complètement remonté : $n_{\text{trf}} = 60$
- Temps moyen pour remonter le ressort entièrement : $t_{\text{remontage}} = 60\text{ s}$
- Temps moyen pour que le ressort revienne à sa position initiale : $t_{\text{déroulement}} = 319\text{ s}$
- Rayon de la manivelle : 9.5 cm
- Rapport de multiplication du train d'engrenages avec poulies et courroie : $m = 326$
- Batteries : 2 éléments NiCd en série d'une capacité $C = 600\text{ mA.h}$ sous 2.4 V environ.

B. Performances des éléments de la chaîne de conversion.

L'instrumentation de l'appareil (figure 10) nous a permis de relever les caractéristiques mécaniques et électriques. La manivelle a été remplacée par une poulie ($D_{\text{poulie}} = 7\text{ cm}$) qui nous permet de mesurer le couple de remontage du ressort.

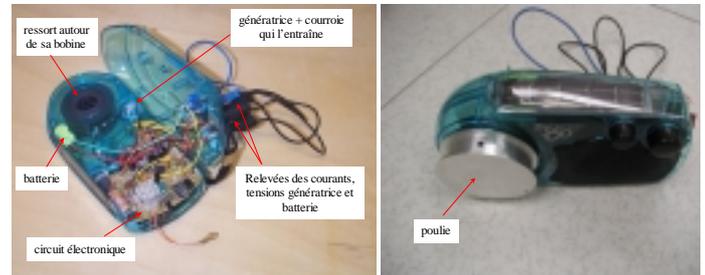


Figure 10. Instrumentation de la radio (électrique et mécanique)

1) *Caractéristiques du ressort* : Pour mesurer les caractéristiques mécaniques du ressort, notamment l'énergie accumulée, la poulie nous permet de déterminer la force en fonction de la position angulaire (nombre de tours).

La figure 11 montre la courbe de l'effort et de l'énergie stockée dans le ressort (obtenue par intégration de $C.d\theta$). On remarque que le couple varie (augmente) sensiblement pendant le remontage.

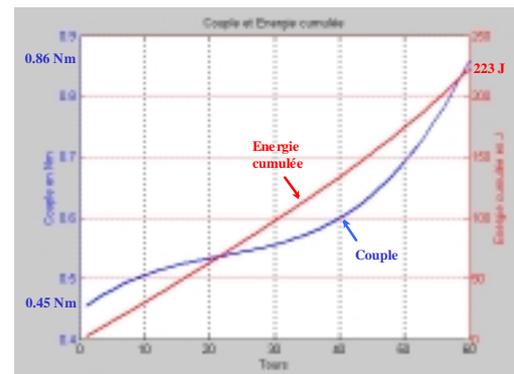


Figure 11. Couple et énergie cumulée dans le ressort (remontage) en fonction du nombre de tours

L'énergie du dispositif atteint 223 J en 60 trs de remontage. L'énergie massique du ressort vaut 0.17 Wh/kg.

Pour avoir l'équivalent de l'énergie stockée, il faudrait sous une tension de 3V, un (super)condensateur de capacité de 50 F que l'on amènerait en décharge complète.

A une vitesse de remontage de 1 tr.s^{-1} , la puissance mécanique $P=C.\Omega$ en début et fin de remontage vaut :

$$P_{\text{début}} = 2.8\text{ W} \text{ et } P_{\text{fin}} = 5.4\text{ W}$$

Le couple fourni lors du déroulement peut s'exprimer en fonction du nombre de tours n_{tr} par :

$$C_{\text{ressort_déroulement}}(n_{\text{tr}}) = C_{\text{ressort_remontage}}(n_{\text{trf}} - n_{\text{tr}})$$

2) *Caractéristiques de la génératrice à collecteur* : Il s'agit d'une machine à collecteur à aimants Mabuchi Motor de type RF 370C 22170. Les essais expérimentaux réalisés nous ont permis de déterminer ses caractéristiques (figure 12) :

- Résistance de la génératrice à courant continu : $R_{mcc} = 2.3\Omega$ (supposée constante)
- Constante de couple et de force contre électromotrice de la génératrice : $k = 95.10^{-4} \text{ V.s.rad}^{-1}$.

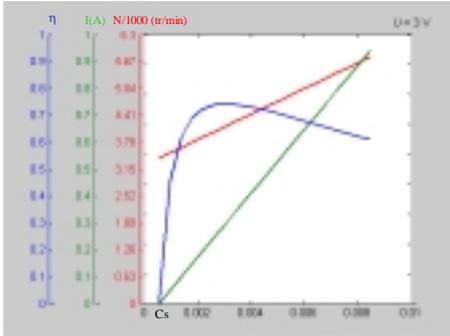


Figure 12. Rendement, Courant et Vitesse de la génératrice en fonction du Couple pour $U=3V$

Ces caractéristiques nous permettront de déduire les points de fonctionnement de la génératrice lors du déroulement du ressort (figure 18).

III. MESURE DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE HUMAINE

Il existe une relation linéaire entre la puissance fournie et le surcroît de la consommation d'oxygène lié à l'exercice (figure 13). Cette relation est utilisée pour déterminer le métabolisme énergétique.

Notons qu'un litre d'oxygène par minute (noté VO_2) correspond à 4,8 kcal par minute soit 340 W métaboliques. Sachant que le rendement énergétique musculaire vaut environ 20% (il varie assez peu en fonction des individus, c'est la limite de possibilité de consommation d'oxygène qui change surtout), un accroissement de VO_2 , par rapport à un état de repos, de 1 litre/minute correspond environ à une puissance mécanique de 70 W. La figure 13 montre, pour un individu donné, l'évolution de VO_2 en fonction de la puissance mécanique ainsi que l'accroissement du rythme cardiaque correspondant. On constate effectivement une croissance de 1 litre/mn pour 70 W.

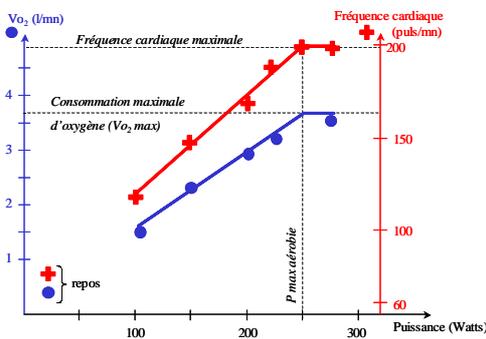


Figure 13. Relation entre consommation d'oxygène et énergie mécanique produite [13]

Comme l'accroissement de VO_2 , lié à l'effort physique correspondant au remontage du ressort, est relativement faible par rapport à la valeur de repos et afin de stabiliser les mécanismes biologiques, un protocole a été mis au point.

A. Protocole expérimental.

Les valeurs de repos du sujet expérimenté sont de 76 pulsations par minute pour la fréquence cardiaque et $0,24 \text{ l.min}^{-1}$ pour la consommation d'oxygène (environ 80 W dissipés au repos). Pendant cette phase de mesure nous avons placé des marqueurs réfléchissant l'infrarouge (système Vicon) sur les repères anatomiques du haut du corps : les deux épaules, le coude droit, le biceps droit, les malléoles interne et externe du poignet, la première phalange du majeur, la clavicule, la base du sternum, les épines iliaques gauche et droit, et sous le nombril. Le placement de ces marqueurs nous sert à définir un repère pour chaque segment considéré en assurant que trois marqueurs au moins sont liés à un même segment. Nous envisageons donc le squelette décrit dans la figure 14.

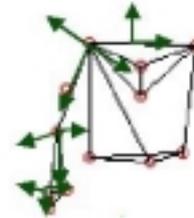


Figure 14. Positions des marqueurs (ronds) sur la partie supérieure du corps (les flèches correspondent aux vecteurs vitesse lors du mouvement)

Le protocole de mesure consiste à passer de l'état de repos à celui de la marche (sur tapis roulant) à 5 km/h puis, après un délai de stabilisation, à réaliser la phase de remontage tout en marchant. A chaque instant sont effectuées les mesures de VO_2 , de fréquence cardiaque et les mouvements des marqueurs (enregistrés sur PC) qui nous permettent d'évaluer l'énergie de translation et de rotation des segments corporels.

La puissance mécanique liée au travail de la force agissant sur la manivelle a été estimée à environ 4W.

B. Résultats expérimentaux.

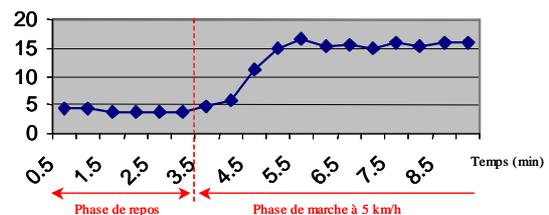


Figure 15. Evolution de la consommation d'oxygène spécifique en $\text{ml.kg}^{-1}.\text{mn}^{-1}$ pendant la phase de stabilisation (individu de 60 kg)

1) Phase de stabilisation : La fréquence des pas était approximativement de 1Hz (mesure du temps s'écoulant entre deux valeurs pic de l'altitude de l'épaule). La consommation d'oxygène stabilisée au bout des trois minutes était de $0,93 \text{ l.min}^{-1}$ et la fréquence cardiaque de 90 pulsations par minute. Compte tenu de ce qui a été dit précédemment, on peut dire que l'accroissement de VO_2 correspond à une puissance mécanique d'environ 50 W. La figure 15 montre l'évolution de la consommation d'oxygène normalisée par rapport à la masse de l'individu (60 kg) en fonction du temps pendant la phase de stabilisation.

2) *Phase de remontage* : Le sujet prend la radio en main et tourne la manivelle lentement, en continuant à marcher pendant 3 minutes à la même vitesse (1 seconde entre chaque pic d'épaule), la manipulation de l'appareil n'a donc pas modifié ce paramètre. La fréquence naturellement choisie pour tourner la manivelle a aussi été mesurée à 1 Hz. Ce choix d'une fréquence identique est un résultat connu dans le domaine des neurosciences. Lors du rechargement nous avons vu la fréquence cardiaque passer de 90 à 100 pulsations par minute, ce qui est suffisamment important pour s'abstraire de l'imprécision de mesure. De même la consommation d'oxygène (VO_2) a légèrement augmenté et bien qu'un palier ne soit pas clairement atteint faute de temps (60 tours de manivelle pour remonter le ressort !), nous pouvons constater une augmentation suffisante pour mesurer l'impact de ce mouvement du point de vue énergétique.

On peut considérer que la consommation d'oxygène est passée de 0,93 à 1,07 $l \cdot min^{-1}$, ce qui représente une augmentation de 9 watts (courbe figure 16). Cette valeur est supérieure aux 4 watts prévus car les mouvements nécessaires, notamment des bras, consomment également de l'énergie. En tenant compte du rendement énergétique musculaire de 20%, le rendement énergétique global vaut donc approximativement 8%.

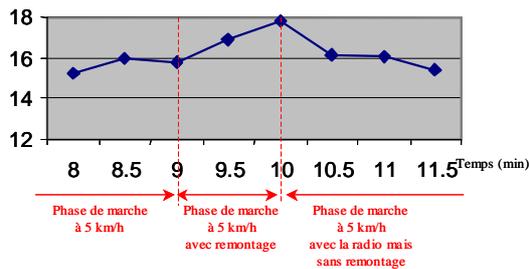


Figure 16. Consommation d'oxygène pendant le remontage en $ml \cdot kg^{-1} \cdot mn^{-1}$

3) *Nouvelle phase de remontage* : A la fin du rechargement, nous avons demandé au sujet de continuer à marcher pendant 3 minutes à la même vitesse avec l'appareil en main, sans tourner la manivelle. Le fait de tenir l'appareil nous a montré (figure 16) que la fréquence cardiaque ne retrouvait pas la valeur de 90 pulsations par minute mais restait proche de 95 pulsations par minute. Le sujet nous a informé qu'il peinait à porter l'appareil qui avait tendance à glisser dans ses mains et entraînait donc de nouveaux efforts pour y parvenir. Au bout des trois minutes nous avons demandé au sujet de recharger l'appareil plus rapidement en lui laissant le choix de la vitesse exacte. Nous avons pu constater une fréquence de mouvement parfaitement égale au double de la fréquence de marche qui n'a pas changé pour autant. La fréquence cardiaque a de nouveau augmenté pour passer de 95 à 105 pulsations par minute. La consommation d'oxygène, sans atteindre de nouveau un palier est montée de 0,9 à 1,02 $l \cdot min^{-1}$, soit un supplément de puissance de 8 watts. Malheureusement, le temps de rechargement à cette vitesse est légèrement insuffisant pour conclure strictement sur les bilans énergétiques mis en jeu, toutefois on peut noter une nette tendance à l'augmentation qui devrait être validée

par une mesure avec un appareil ayant une plus longue durée de rechargement.

D. Conclusions.

Nous souhaitons insister sur trois points :

Les appareils de mesure sont assez sensibles pour mesurer le surcoût d'énergie engendré par ce type de mouvement (peu stressant pourtant). Ceci nous amène à conclure que de nouvelles expérimentations de ce genre peuvent être menées par la suite.

A l'avenir, il faudra veiller à tester des systèmes qui permettent une plus longue durée de travail afin d'offrir les meilleurs résultats possibles.

Il faudra aussi prendre en compte des phénomènes entourant la manipulation de l'appareil. Dans cette expérimentation, nous aurions dû mesurer les énergies mises en jeu lors du mouvement de marche sur tapis en tenant l'appareil car il semble qu'il apporte un inconfort qui biaise les mesures lors du rechargement.

IV. MESURES ET ANALYSE ENERGETIQUE DE LA PHASE DE DEROULEMENT DU RESSORT

Le déroulement du ressort, à travers le multiplicateur, donne une attaque en couple de la génératrice à aimants.

La figure 17 montre les tensions aux bornes de la génératrice et de la batterie ainsi que le courant fourni par la génératrice égal à celui absorbé par la batterie (radio éteinte).

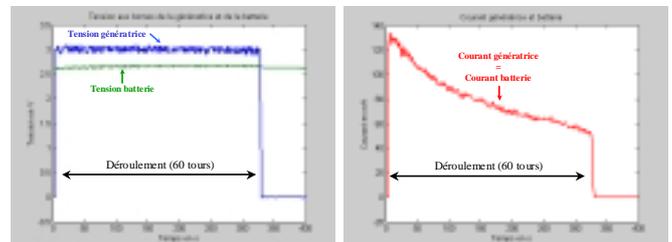


Figure 17. Tensions et courants génératrice à collecteur- batterie

Le tableau 1 résume les valeurs des tensions et courants au début et fin de rembobinage :

TABLE 1. RELEVÉ DES GRANDEURS LORS DU DEROULEMENT

	Ugene (V)	Igene (mA)	Ubat (V)	Ibat (mA)
Début déroulement	2.97	134	2.59	134
Fin déroulement	2.99	53	2.66	53

La chute de tension observée, entre la tension génératrice et la tension batterie, s'explique par le fait que la batterie est directement (absence de régulation) chargée par l'intermédiaire d'une diode série qui provoque une chute de tension de l'ordre de 0.4 V. Le rendement énergétique (sur le cycle complet) électrique de recharge est de 88 % (76 J produit par la génératrice et 67 J transféré dans l'accu.).

En confrontant la tension et le courant aux bornes de la génératrice aux courbes caractéristiques de fonctionnement de la génératrice (figure 12), on en déduit le lieu des points de fonctionnement (figure 18 et tabl. 2) lors du déroulement.

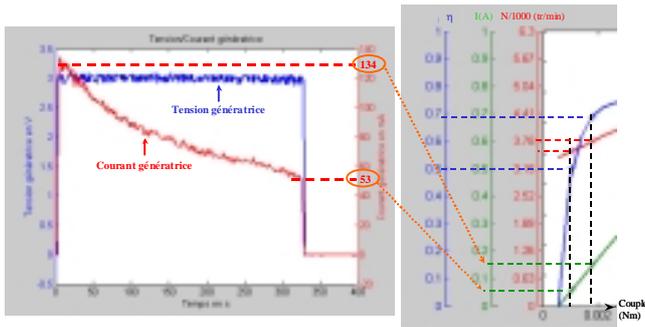


Figure 18. Détermination des points de fonctionnement de la génératrice

TABLE 2. POINTS DE FONCTIONNEMENT DE LA GENERATRICE

	Ugene (V)	Igene (mA)	Cgene (mN.m)	Ngene (tr/min)	ηgene (%)
Début déroulement	2.97	134	1.8	3399	62
Fin déroulement	2.99	53	1.1	3194	45

On remarque que la génératrice ne travaille pas à son point de rendement maximum. En outre, l'accumulateur reçoit un courant relativement modéré eu égard à sa capacité (environ 1/10^{ème} à 2/10^{ème} de sa capacité).

Connaissant le couple fourni au ressort ramené à la génératrice $C_{ressort}$ et le couple fourni à la génératrice, on en déduit le couple de pertes dans le train d'engrenage (tab. 3) :

TABLE 3. BILAN DES COUPLES MECANIQUES

	C _{ressort} (mN.m)	C _{gene} (mN.m)	C _{perdes} (mN.m)
Début déroulement	2.6	1.8	0.8
Fin déroulement	1.3	1.1	0.2

L'énergie maximale que peut stocker la batterie est de l'ordre de 5200 J ($E=C.U_{bat}$) soit 84 remontages du ressort sachant qu'un remontage complet prend environ 1 minute, le déroulement du ressort met environ 6 minutes et que 60 tours de manivelle offrent environ un quart d'heure d'écoute !

V. BILAN ENERGETIQUE GLOBAL ET CONCLUSION

De ces différents essais, nous en déduisons le rendement approximatif de la partie conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique de la radio (figure 19).

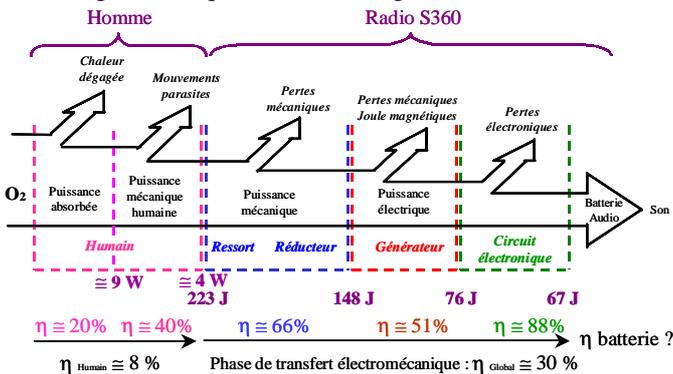


Figure 19. Bilan énergétique global du récepteur de radio

Notons les avantages d'un système à ressort :

- il permet d'emmagasiner l'énergie avec une puissance plus élevée que celle de décharge (rapport 6 environ en considérant un remontage à 1 tr/s), ce qui permet de réduire le dimensionnement en puissance du système électrique ;

- il encaisse d'éventuels sauts de puissance dus à la manipulation;

- l'accumulateur reçoit une puissance relativement faible, plus favorable à sa durée de vie.

Mais une rupture de la manivelle lors d'un remontage rapide a montré que la fiabilité n'était pas excellente (bien que le ressort ne soit pas en cause). Et nous pouvons considérer que le rendement de la chaîne de conversion électromécanique de 30% est très faible. On peut alors s'interroger sur l'utilité d'un ressort lourd, encombrant et bruyant s'il s'agit de stocker l'énergie dans un accumulateur, avant son utilisation. Il est donc nécessaire de rechercher de meilleures architectures de générateurs électromécaniques, associés aux mouvements considérés afin d'optimiser l'aspect ergonomie-conversion d'énergie.

Une structure mécanique plus simple permettrait un gain de rendement et de poids. On peut ainsi envisager une structure voisine, éventuellement plus rapide au niveau de la génératrice (afin de ne pas augmenter la masse) et avec un convertisseur sensiblement amélioré entre cette dernière et l'accumulateur. On peut également envisager, à condition de concevoir un générateur spécial, une génération directe (sans multiplication mécanique de la vitesse) avec, là aussi, un convertisseur électronique plus évolué. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de concevoir une génératrice à haut rendement malgré une très basse vitesse (60 tr/mn) et un couple relativement élevé (0,8 N.m).

En tout cas, il ne semble pas envisageable de recharger à une puissance plus élevée pour des raisons de fatigue musculaire.

V. BIBLIOGRAPHIE

- [1] "Entreprises et marché. Accumulateurs : Marché mondial en 1998 des accumulateurs", *Electronique Internationale Hebdo*, 3 juin 1999, N°352, page 13.
- [2] Actes du colloque. "Energie Portable : autonomie et intégration dans l'environnement humain", Club EEA, Cachan mars 2002.
- [3] Satrner T., "Human-Powered Wearable Computing", *IBM Systems Journal*, Vol. 35, pages 618-629, 1996.
- [4] 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.
- [5] Paradiso J., "Renewable Energy Sources for the Future of Mobile and Embedded Computing", *Computing Continuum Conference*, San Francisco, CA, 16 mars 2000.
- [6] Baylis T.G., "Spring operated current generator for supplying controlled electric current to a load", Baylis Generators Limited, Brevet N° US 5917310, 29 juin 1999, 18 pages.
- [7] Freeplay Energy, Site web : <http://www.freeplay.net>.
- [8] "Mini générateur ou appareil de musculation ?", *Electronique Internationale Hebdo*, 5 juillet 2001, N°441, page 45
- [9] Nissho Engineering (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 may 2001, 30 pages.
- [11] Motorola, US, Annonce publi-information, Site web : <http://commerce.motorola.com/consumer/QWhtml/frecharge.html>
- [12] Nissho Engineering, Japon, Annonce Tup-Power, Site web : <http://www.nseg.co.jp/english2/products/tug/syousai.htm>
- [13] Lacour J.R., "Le fonctionnement musculaire", *Hors série Science et Vie*, juin 1978, pages 99-111.