



Article original

Détermination des caractéristiques de l'énergie électrique produite par le *Malapterurus electricus*, un poisson électrique des eaux douces du Bénin

DETERMINATION OF THE ELECTRICAL ENERGY CHARACTERISTICS PRODUCED BY THE *MALAPTERURUS ELECTRICUS*, AN ELECTRIC CATFISH OF FRESHWATER IN BENIN

ADEDJOURA S. A.^{1*}, HANGNILO R.¹, ZONOU J.M.¹, MENSAHG.A.²

1- Laboratoire d'Electrotechnique de Télécommunication et d'Informatique Appliquée (LETIA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

2- Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 01 BP 2359 Recette Principale, Cotonou, Bénin.

*Auteur correspondant, E-mail : semiyou.adedjoura@epac.uac.bj

RÉSUMÉ

Les paramètres de la décharge des organes électriques (EOD) du *Malapterurus electricus* sont en train d'être étudiés dans notre laboratoire dans la perspective d'une domestication de l'énergie des poissons. L'élevage expérimental de ce poisson nous a permis de suivre son comportement alimentaire, le milieu physico-chimique dans lequel il se plaît, ses traits physiques et les paramètres des EOD qu'il émet. Le spécimen de *Malapterurus electricus* étudié à une taille de 15 cm et un poids de 64,9 g. Il produit des salves intermittentes d'une fréquence variant entre 250 et 300 Hz. L'EOD visualisée sur oscilloscope montre une courbe mono alternance dont l'amplitude maximale est de l'ordre de 25 V. Chaque salve dure environ une demi-seconde. Les décharges sont plus régulières la nuit que le jour. Le *Malapterurus electricus* est pratiquement un générateur de tension.

©2011 CRUFAOCI Tous droits réservés

Mots clés : *Malapterurus electricus*, poisson électrique, décharge des organes électriques, énergie électrique domesticable, stockage d'énergie électrique.

ABSTRACT

A study of electrical characteristic and the use of electric organ discharge (EOD) of electric fish in general and especially of the *Malapterurus electricus* in Benin for a new source of tamed electrical power has been conducted in our laboratory. Our experimental farming on *Malapterurus electricus* allowed us to monitor feeding its behaviour, the physical and chemical environment in which it lives, its sample physical characteristics and electrical parameters of the EOD it emits. The *Malapterurus electricus* studied had a height of 15 cm with a body weight of 64.9 g. It produces intermittent bursts of a frequency between 250 and 300 Hz. The electrical organ discharge displayed on the oscilloscope shows a single curve whose dual amplitude having up to 25 V. Each burst lasts sometimes half a second and is more regularly at night than by day. *Malapterurus electricus* seems like a voltage generator.

©2011 CRUFAOCI All rights reserved

Keywords: *Malapterurus electricus*, electric fish, electric organ discharge, electric energy storage.

INTRODUCTION

Les poissons ont pour habitat naturel l'eau qui est plus dense que l'air où vivent les autres vertébrés et qui à l'opposé de l'air conduit l'électricité. Pour y survivre, ils ont développé des organes sensoriels particuliers qui leur permettent de s'orienter même en eaux troubles, (Mago-Leccia, 1994). Parmi eux, on distingue les poissons électriques dont les organes sensoriels perçoivent les informations électriques véhiculées par l'eau. Certains sont mêmes capables de produire l'électricité comme c'est le cas des Raies Torpilles (Torpedidae et Narcinidae) en eau de mer qui peuvent délivrer jusqu'à 200 V et du Gymnote ou Anguille électrique (*Electrophorus electricus*) en eau douce dont les décharges électriques peuvent atteindre 700 V pour 1,5 A, (Florion et Willig, 2010).

On dénombre 363 espèces de poissons électrosensibles réparties dans 348 genres, (Albert et Fink, 1996 ; Triques, 2000 ; Crampton et al., 2004). Parmi ces diverses espèces de poissons électriques, un certain nombre a été identifié dans les eaux douces de la République du Bénin : il s'agit notamment des espèces siluriformes de la famille des *Malapteruridae* (*Malapterurus beninsis*, *Malapterurus electricus*), etc.

Au sein du lot des poissons électriques vivant dans les eaux douces de la République du Bénin, c'est le *Malapterurus electricus* qui a été retenu pour notre étude et pour deux raisons. La première des raisons est que ses performances électriques sont largement au-dessus de la moyenne : les décharges des organes électriques, (EOD) de ce poisson chat sont de l'ordre de 400 à 600 V pour une fréquence variant entre 250 et 600 Hz. La deuxième raison est que le *Malapterurus electricus* est très fréquent dans les eaux douces du Pays. On le rencontre en effet dans l'Ouémé, le Zou et dans les affluents de ces principaux fleuves du Bénin (Projet de pêche lagunaire, 1993).

Aux potentialités énergétiques dont dispose la République du Bénin pour son développement durable que sont le rayonnement solaire, le vent, la biomasse, les ressources hydroélectriques des fleuves Mono et Ouémé, on peut désormais ajouter les poissons électriques de ses eaux douces.

Quand on considère la dégradation de notre milieu de vie induite par les sources traditionnelles d'énergie du fait de la pollution de notre environnement et les conséquences de cette pollution qu'on observe par l'effet de serre qui sévit

sur notre planète et qui ne cesse de s'aggraver (William 1997 ; Bergonzini, 2004).

Quand on sait que la plus grande partie de l'énergie électrique consommée en République du Bénin provient de l'extérieur du pays, alors la recherche de nouvelles sources d'énergie non ou peu polluantes pour l'environnement doit devenir un souci permanent pour chercheurs scientifiques et autres décideurs. Pour que le *Malapterurus electricus* devienne une source d'énergie électrique fiable et asservie aux besoins de l'homme, il est nécessaire de l'étudier suffisamment en commençant notamment par la caractérisation de ses organes électriques.

Il a été montré en effet que les poissons électriques, grâce à leurs organes électriques, produisent des décharges électriques (<http://tpelectrique.tp.funpic.org/index.html>, 2008 ; Albert, 2001 ; Stoddard, 2002) pour capturer une proie, se défendre, s'orienter dans leur milieu ou communiquer.

L'objectif global de cette étude est donc une contribution à la diversification des sources d'énergie au Bénin. Il s'agit spécifiquement d'identifier les caractéristiques physico-chimiques du milieu de vie du poisson étudié, de déterminer ensuite les caractéristiques des décharges électriques de ce dernier. La production d'énergie électrique à partir du *Malapterurus electricus* peut donc être envisagée en République du Bénin (Florion et Willig, 2010).

MATERIEL ET METHODES

Conduite de l'élevage des poissons électriques

L'élevage des poissons électriques au Bénin a démarré par l'expérimentation sur le *Malapterurus electricus* que nous avons gardé pendant quatre (04) mois dans le Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture (LHA) de la Faculté des Sciences Agronomique (FSA) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) du Bénin. Il est ainsi montré la possibilité de faire vivre le *Malapterurus electricus* en aquarium dans les buts divers. En effet, après trois (03) mois d'observation des traits physiques, nous avons enregistré un léger accroissement de la taille de 2 cm et du poids (3,6 g) du poisson.

Matériel et méthodes de mesure sur les sites de collecte

La collection des poissons électriques peut se faire sur les cours d'eau douce (Murai et Hounkpè, 2003) de la vallée de l'Ouémé avec le matériel de pêche comme les filets, les nasses, les acadjas et les hameçons. La nasse, considérée comme technique rudimentaire de capture (Lalèyè et al., 2004), est également un piège et un refuge pour les poissons électriques. C'est alors le moyen de pêche le plus approprié proposé pour les poissons électriques. Le Global Position Système (GPS) sert de repère pour les coordonnées géographiques des sites de capture. Les mesures des paramètres physico-chimiques des bassins ont été faites à la surface et au fond de la manière suivante : nous plongeons les capteurs des appareils de mesure ; nous attendons une stabilisation de la valeur durant une (01) à deux (02) minutes ; nous mentionnons la valeur et nous reprenons la même mesure un peu après. Nous gardons enfin la valeur

moyenne des mesures paramètre par paramètre.

Le Waterproof pH tester 10 Double jonction a servi pour relever le pH de l'eau ; un thermomètre (-50°C à 200°C) a servi pour mesurer la température de l'eau dans laquelle se trouve le poisson électrique ; le Radiomètre analytique Pioneer 30 a permis de mesurer la conductivité de l'eau ; l'appareil de mesure d'oxygène a permis de relever le taux d'oxygène dissous dans l'eau. Aussi, des mesures linéaires, curvilignes et pondérales ont été prises sur le *Malapterurus electricus*.

Mesures des paramètres électriques

Le dispositif expérimental de la figure 1 porte sur l'étude

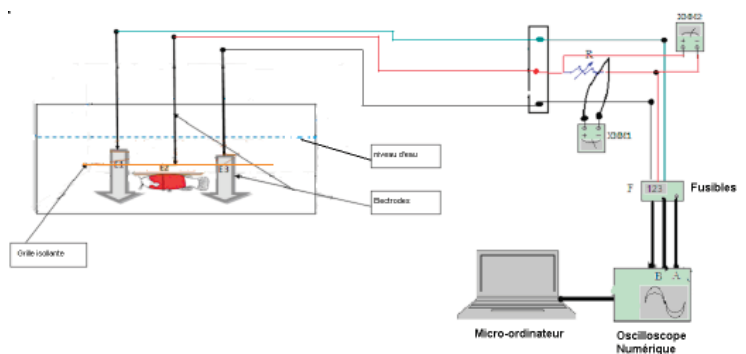


Figure 1 : Schéma du dispositif de mesure des paramètres électriques modifié.

Source : (<http://tpelectrique.tp.funpic.org>)

de la fréquence, de l'amplitude et surtout de la puissance des décharges électriques des poissons électriques en fonction de la variation de la charge (résistance variable). Il comporte trois (03) électrodes en argent plongées dans l'aquarium dans lequel se trouve un poisson électrique dont le mouvement dans l'aquarium est imposé par une grille isolante positionnée juste au-dessus de telle sorte qu'un espace de un (01) à trois (03) cm est réservé entre le haut et le bas. Cette grille permet de contrôler le mouvement latéral du poisson et a pour utilité de pouvoir rapprocher le poisson électrique des électrodes. Lorsque les électrodes sont proches de l'organe électrique du poisson, on minimise les pertes causées par l'impédance de l'eau de l'aquarium. L'organe électrique du *Malapterurus electricus* est situé entre sa tête et sa queue le long du corps (Harvey-Girard, 2005). Les trois (03) électrodes sont rapprochées des organes électriques du poisson quelle que soit la position de ce dernier dans l'aquarium. Celle qui est au milieu E2 est la masse pour les deux voies de l'oscilloscope. Les électrodes sont en argent qui est un bon conducteur d'électricité. Les deux électrodes (E1 et E3) serviront à mesurer les paramètres électriques selon la position du poisson. Une pince ampérométrique servira à mesurer l'intensité du courant électrique dans la ligne commune issue de l'électrode E2. Un multimètre électronique est en position sur le contrôle de la valeur de la résistance à chaque variation. L'oscilloscope a permis de visualiser les formes de la décharge. Le micro-ordinateur enregistre les données de l'oscilloscope pour l'analyse.

¹Poisson de la famille des siluridés.

On s'est servi d'un bâton en plastique et des clarias¹ pour exciter le poisson électrique. Dans le circuit, en amont un interrupteur différentiel à fusibles de protection intégrés sert à protéger les appareils de mesure contre une éventuelle anomalie de tension ou de courant. Les expériences suivantes ont été faites :

Dans un premier temps, nous avons positionné dans l'aquarium deux électrodes E1 et E3 distantes de soixante (60) cm pour une séquence de mesure pendant la journée, pendant la nuit dans l'obscurité, et en présence de la lumière, avec excitation ou non. Dans le second temps, nous avons repris l'expérience avec les trois électrodes E1, E2 et E3.

RÉSULTATS

Paramètres physicochimiques du milieu de vie du poisson électrique

Les paramètres physicochimiques (tableau I) de l'eau de l'aquarium ont été mesurés. Les mesures ont été effectuées la nuit profonde à 3 h, le matin à 8 h, à 12 h et le soir à 19 h durant toute la période expérimentale de l'élevage du *Malapterurus electricus*. Les dimensions de l'aquarium en

Tableau I : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques de l'eau de l'aquarium

	Température [°C]	pH	Conductivité [μ S/cm]	Taux d'O ₂ dissous [mg/l]
Soir (19 h)	27,55	8,5	25	7,95
Matin (8 h)	26,13	8,49	25,07	7,67
Midi (12 h)	29,32	8,51	25,10	7,98
Nuit profonde (3 h)	26,05	8,48	25,04	7,23

plexiglas sont 120 cm x 60 cm x 80 cm. L'eau dans l'aquarium a une hauteur de 50 cm.

Paramètres physiologiques externes du *Malapterurus electricus* étudié

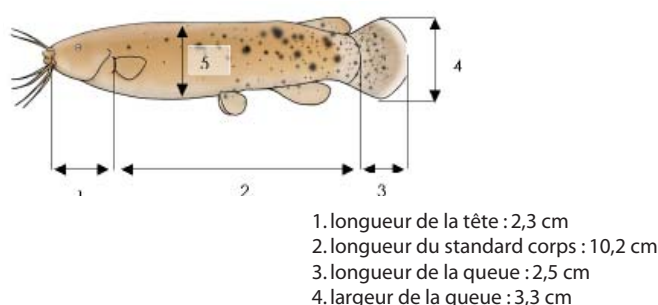


Figure 2 : Indications des mesures prises sur le *Malapterurus electricus*

La taille du poisson est de 15 cm et il a un poids vif corporel de 64,9 g (figure 2).

Paramètres électriques

La décharge des organes électriques du *Malapterurus electricus* est contrôlée par son système nerveux (Caputi, 1999). Nous avons obtenu des résultats qui confirment que toutes les décharges électriques du *Malapterurus electricus*

ont pratiquement la même forme mais l'amplitude et la fréquence peuvent varier.

Forme, amplitude et fréquence de l'énergie produite

La mesure des paramètres électriques du poisson a été effectuée à plusieurs reprises sur une période de quarante cinq (45) jours, entre les mois de mai et d'août 2009. Au cours d'un intervalle de trois (03) mois, nous avons observé une augmentation globale de l'EOD de 4,3 V. Le poisson électrique est mis dans l'aquarium selon le dispositif de mesure (figure 1). Lorsqu'il n'est pas excité, le signal électrique obtenu sur l'écran de l'oscilloscope est une très faible impulsion d'amplitude 0,01 mV. En touchant le poisson électrique à l'aide d'un petit bâton en plastique, nous obtenons deux types de signaux comme le montre la figure 3. On a un signal mono-alternance positif d'une durée d'une demie seconde lorsque le poisson électrique a sa queue en direction de l'anode et sa tête en direction de la cathode. Un signal mono-alternance négatif lorsqu'il adopte la position inverse ou lorsque la position des électrodes est inversée. Les deux formes des signaux électriques croissent en amplitude avec l'intensité de l'excitation. En mettant une LED à la place de l'oscilloscope, cette dernière s'allume lorsque l'anode de la LED est reliée à sa queue et la cathode à sa tête. Ainsi nous déduisons de l'analyse des deux formes du signal par rapport aux comportements de l'animal que le *Malapterurus electricus* est un générateur d'impulsions électriques polarisé dont la queue porte la polarité positive et la tête la polarité négative.

Rythme de la décharge électrique

Les valeurs des mesures faites en présence de quatre (04) poissons clarias de taille six (06) cm durant certaines périodes, nous ont permis d'apprécier le rythme de la décharge électrique. Ces clarias sont les excitants du *Malapterurus electricus*. Si le nombre de poissons électriques est supérieur à quatre (04) dans le même aquarium, il est observé une régularité dans la communication qui se traduit par les décharges électriques plus denses. Aussi, le nombre de poisson clarias introduit dans l'aquarium doit être limité pour permettre aux poissons de bénéficier d'un taux d'oxygène

Tableau II : Valeurs maximales des paramètres des décharges électriques enregistrées chez le *Malapterurus electricus*

ddp [V] amplitude	Intensité Courant [mA]	Fréquence [Hz]	Durée du signal [ms]	Puissance (P _e) [W]
29	23,07	250-300	500	0,5307



Figure 3-a : Alternance positive **Figure 3-b :** Alternance négative suffisant pour leur respiration. C'est pour cette raison que nous avons choisi quatre (04) poissons clarias en fonction des dimensions de notre aquarium. Durant la période de

19 h à 6 h nous avons relevé en moyenne 87 décharges par heure (figures 4 et 5). Ce taux varie entre 81 et 91 décharges par heure et dont la durée varie elle aussi entre 10 ms et 4

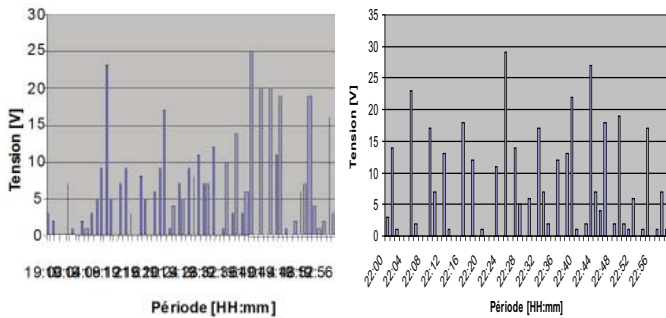


Figure 4 : Rythme de l'EOD entre 19 h et 20 h

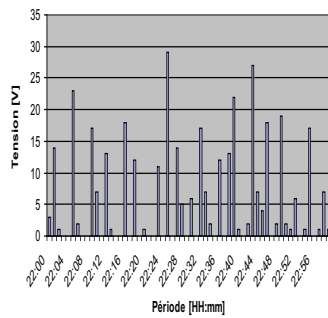


Figure 5 : Rythme de l'EOD entre 22 h et 23 h

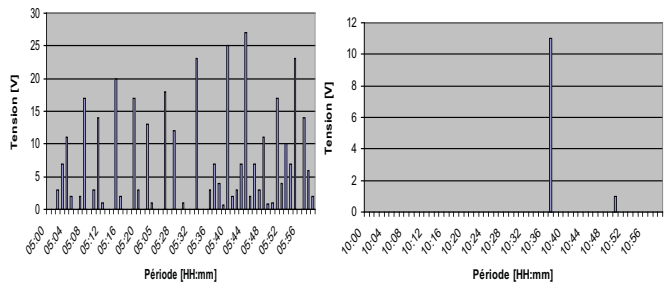


Figure 6 : Rythme de l'EOD entre 5 h et 6 h

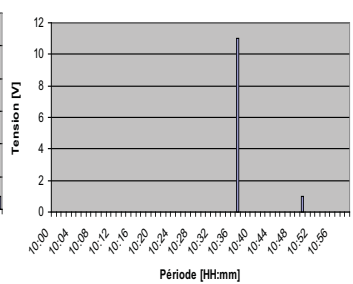


Figure 7 : Rythme de l'EOD entre 10 h et 11 h

Tableau III : Bilan des données de la durée et du rythme de l'EOD en fonction du niveau de tension entre 19 h et 23 h

Tension [V]	0,5	0,6	0,7	0,8	1	2	3	4	5	5,5	6	7	8	9
Durée [s]	1	0,5	0,0001	1	11,95	9,157	8,856	1,209	3,16	0,004	14,047	12,38	-	0,001
Nbre EOD	1	1	3	1	34	42	25	6	17	2	16	42	-	14

(a)

Tension [V]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Durée [s]	1	10,203	0,317	0,012	1,017	0	0,8	4,466	3,1	4	12,32	8,08	2	1,46
Nbre EOD ¹	1	16	13	13	9	0	5	28	10	7	10	8	2	4

(b)

Tension [V]	24	25	26	27	28	29	Total	Moyenne	Ecart-Type
Durée [s]	1	0,036	0,012	0,017	-	0,002	113,122	3,3271	4,50562
Nbre EOD	1	3	8	8	-	1	351	10,3234	11,5934

(c)

s (tableau III). Il découle des figures 3 et 4 que les décharges sont plus régulières la nuit. Pendant la nuit lorsque nous avons éclairé l'aquarium, le poisson a cessé d'émettre des décharges électriques. Pendant la journée entre 6 h et 12 h le rythme de la décharge est très faible (figures 6 et 7). En pleine journée (10 h à 14 h), les EOD obtenues varient entre 0 et 7. Nous retenons finalement que l'élément fondamental de la régularité du rythme de la décharge électrique est l'obscurité. La durée de chaque décharge électrique dans ce cas est de l'ordre d'une seconde ou moins. La tension de

la décharge relevée n'est pas fixe. Elle varie entre 0 et 29 V (tableaux II et III).

Lorsque le poisson est excité avec un petit bâton en plastique à n'importe quel moment nous obtenons une décharge dont l'amplitude dépend de l'intensité de l'excitation. La tension maximale mesurée peut atteindre 30V en une demie seconde pour une décharge électrique. Le poisson électrique considère certainement le bâton comme un prédateur et produit par conséquent des décharges électriques pour se défendre. Nous remarquons également que le temps que dure chaque décharge ne permet pas à première vue un stockage de l'énergie produite. Les décharges électriques produites de 19 h à 23 h sont regroupées dans le tableau III. Ce tableau nous présente le temps durant lequel un niveau de tension est observé et également le nombre de décharges électriques qui lui est associé.

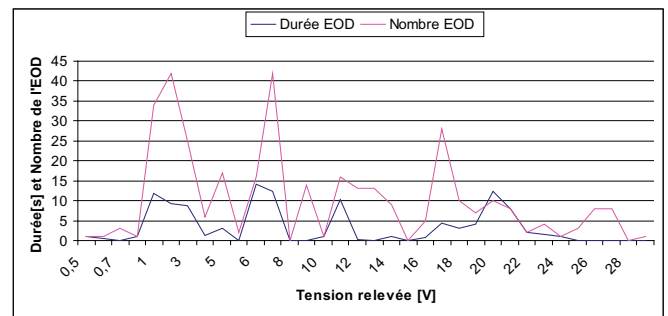


Figure 8 : Evaluation de la durée et du rythme de l'EOD en fonction des niveaux de tension. (Période : 19 h à 23 h)

L'analyse de la figure 8 montre que la croissance du rythme de la décharge électrique va souvent de paire avec la durée de chaque niveau de tension. Nous remarquons que les tensions entre 7 et 21V ont la durée la plus élevée (12,5 s). De même, les tensions entre 2 et 12V ont une durée d'environ 10 s. Les pics de tension de

plus de 22V ont une durée faible, ceci s'explique par le fait que la forte décharge est utilisée occasionnellement pour paralyser une proie ou éloigner un prédateur par le poisson électrique.

DISCUSSION

Pour quantifier l'énergie produite par les organes électriques du *Malapterurus electricus*, il est indispensable de procéder à la mesure de l'amplitude et de la fréquence des EOD de ce poisson. La connaissance de la forme de l'onde électrique produite lors des décharges est aussi nécessaire.

Pendant la journée, le rythme de la décharge électrique du *Malapterurus electricus* est très irrégulier : 0 à 7 fois en une heure. Par contre la nuit, cette décharge devient dense et plus régulière en passant à environ 87 impulsions par heure, soit 12 à 13 fois plus dense qu'en milieu de la journée. Quant la nuit est simulée en plein jour, le poisson reprend ses comportements nocturnes. On peut donc conclure qu'en général, l'activité électrique du *Malapterurus electricus* nécessite l'obscurité pour s'accroître. Parfois, la décharge dure moins d'une demie seconde dans le temps. Les résultats obtenus par Belbenoit et al. (1979) qui rapportent que le rythme de la décharge est de l'ordre de 108 fois par heure pour une largeur d'impulsion de 2ms à 8s, confirment d'une part nos observations sur le *Malapterurus electricus* ; d'autre part, son regain d'activité que nous avons observé pendant la nuit montre bien qu'il est un chasseur nocturne comme l'ont fait remarquer Rankin et Moller, (1986) et Paugy et al. (2003).

La forme mono-alternance des impulsions qu'on observe parfois chez le *Malapterurus electricus* concorde par ailleurs avec celle observée chez la torpille et le *Gymnarchus niloticus* (François, 1966 ; Decoursey, 1992). Par contre, les résultats obtenus par Belbenoit et al. (1979), selon lesquels les EOD du *Malapterurus electricus* comportent deux principales formes de signal qui sont sinusoïdales et mono-alternances ne s'harmonisent pas totalement avec les nôtres. En effet, nous avons observé chez ce poisson chat des EOD qui ressemblent à une tension alternative redressée qui est soit double alternance, soit mono-alternance selon la période de la journée et le mode de l'excitation du poisson. La fréquence des EOD du prototype que nous avons étudié varie entre 250 et 300 Hz. L'amplitude maximale observée pour ce spécimen oscille autour de 20 V et dépend du mode d'excitation du poisson. L'excitation consiste à chatouiller plus ou moins fortement le poisson avec une baguette plastique. D'une expérience à l'autre, le *Malapterurus electricus* peut faire varier l'amplitude aussi bien que la fréquence des EOD qu'il émet. Adulte, il produit des EOD allant jusqu'à 350V François (1966) et Moller (1980).

Le milieu physico-chimique dans lequel le poisson se plaît dans notre laboratoire est tout simplement l'eau de la rivière Djonou que nous prélevons sous le pont de Godomey tout près du Campus de l'Université d'Abomey-Calavi, UAC. Il est donc possible d'entreprendre au Bénin l'élevage du *Malapterurus electricus* dans les étangs artificiels dans le but de l'exploitation de son énergie. Les résultats selon lesquels l'intensité du champ électrique diminue lorsque l'on s'éloigne du poisson électrique et qui sont obtenus dans (Moller, 1980 ; Florion et Willig, 2010) sont en parfaite concordance avec nos observations.

CONCLUSION

Pour avoir allumé une lampe LED avec les EOD du *Malapterurus electricus* dans notre Laboratoire, nous pouvons affirmer que l'exploitation de l'énergie des poissons électriques est en général faisable. Comme ces poissons peuvent vivre dans des aquariums, il est évident

que la source d'énergie qu'ils représentent servira aussi bien en ville que dans les zones reculées. Nous suggérons le démarrage intensif de l'élevage du *Malapterurus electricus* au Bénin et la poursuite des études devant permettre d'avancer sur la question de revalorisation de cette source d'énergie. Ce poisson produit des décharges électriques en salves intermittentes qui sont en nombre plus important dans l'obscurité qu'en présence de la lumière.

Lorsqu'on s'apprête à faire débiter de l'énergie par le *Malapterurus electricus*, il faut assombrir son habitat pour augmenter la puissance de cette source. Notre étude nous a permis de connaître les paramètres des organes électriques du poisson tels que : courant, tension, fréquence et rythme du signal ; la puissance de l'énergie produite est influencée par la conductivité du milieu, les électrodes utilisés, la taille du poisson, l'éclairage, l'obscurité, le taux d'excitation et la durée de chaque décharge électrique. Le *Malapterurus electricus* n'est pas le seul type de poissons électriques qui vit dans les eaux douces du Bénin. Les perspectives qui s'ouvrent donc à partir de notre étude faite sur ce poisson sont nombreuses. Les prochaines études pourront s'orienter vers les pistes suivantes : les modes d'excitation pour rendre le signal électrique régulier et permanent sans affecter la vie du poisson, la caractérisation des organes électriques d'autres espèces vivant dans les eaux du Bénin, la modélisation des organes électriques de ces poissons, etc. Pour ce faire, il est indispensable de disposer des poissons électriques ; l'inventaire rigoureux, la collette et le démarrage de l'élevage des poissons électriques est donc recommandable en République du Bénin.

RÉFÉRENCES

- Albert JS, Fink WL. 1996. *Sternopygus xingu*, a new species of electric fish from Brazil (Teleostei: Gymnotoidei), with comments on the phylogenetic position of *Sternopygus Copeia*, **1**: 85-102.
- Albert JS. 2001. Species diversity and phylogenetic systematics of American Knifefishes (Gymnotiformes, Teleostei). *Misc Publ Mus Zool*, **190**: 1-127.
- Belbenoit P, Moller P, Serrier J, Push S. 1979. Ethological observations on the electric organ discharge behaviour of the electric catfish, *Malapterurus electricus*. (Pisces). *Behav Ecol Sociobiol*, **4**: 321-330.
- Bergonzini J.C. 2004. Changements climatiques, désertification, diversité biologique et forêts. *Paris: Silva - Réseau international arbres tropicaux*.
- Crampton WGR. 1998. Electric signal design and habitat preferences in a species rich assemblage of gymnotiform fishes from the Upper Amazon basin. *Ann Acad Bras Ci*, **70**: 805-847.
- Crampton WGR, Hulen GK, Albert JS. 2004. Redescription of *Sternopygus obtusirostris* (Gymnotiformes: Sternopygidae) from the Amazon basin, with description of osteology, ecology and electric organ discharges. *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, **15**(2): 121-134.
- Caputi AA. 1999. The electric organ discharge of pulse gymnotiforms: the transformation of a simple impulse

- into a complex spatiotemporal electromotor pattern. *JEB*, **202**: 1229-1241
- Decoursey PJ. 1992. Sensory Perception and Communication in Electric Fish. *Department of Biological Sciences and Baruch Institute for Marine Biology University of South Carolina Columbia, South Carolina* 29208: 49-50.
- Florion A, Willig C. 2010. électrocosmos le peuple de l'onde (les poisons électriques). France : *Muséum-Aquarium de Nancy*.
- Harvey-Girard E. 2005. Les Lumières des poissons électriques. *Apteronote*. Ed. Ottawa 2005. < http://www.apteronote.com/revue/histoire/article_19.shtml>, consulté le 12/06/11 à 9 h.
- Lalèyè P, Chikou A, Philippart JC, Teugels G, Vandewalle P. 2004. Etude de la diversité Ichtyologique du Bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cybium*, **28**(4) : 229-339.
- Moller P. 1980. Species recognition in mormyrid weakly electric fish. The electric and magnetic channels Electroreception. *Oceanus*, **23**: 44-54.
- Mago Leccia F. 1994: Electric Fishes of the continental waters of América. *Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, **26**: 229.
- Murai T, Hounkpè C. 2003. Atlas des poissons et crustacés du Bénin eaux douces et saumâtres. *Bénin : MAEP/DP*.
- Paugy D, Lévêque C, Teugels GG. 2003. Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. *Tome II IRD Editions*.
- Projet de pêche lagunaire. 1993. Guide de détermination des poissons et crustacés des lagunes et lacs du bas Bénin, Cotonou.
- Rankin C, Moller P. 1986. Social behavior of the African electric catfish, *Malapterurus electricus*, during intra- and interspecific encounters. *Ethology*, **73**: 177-190.
- Stoddard PK. 1999. Predation enhances complexity in the evolution of electric fish signals. *Nature*, **400**: 254-256.
- Stoddard PK. 2002. The evolutionary origins of electric signal complexity. *Journal of Physiology-Paris*, **96** (5-6): 485-491.
- Triques, M.L. 2000. *Sternopygus castroi*, a new species of Neotropical freshwater electric fish, with new synapomorphies to the genus (Sternopygidae: Gymnotiformes: Teleostei). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, **35**: 19-26.
- William MC, 1997. Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestiers. Aspects généraux. Rome : FAO.
- <http://tpelectrique.tp.funpic.org/index.html>, consulté le 11/06/11 à 22 h.