

RÉALISATION DE TRAVAUX PRATIQUES EN ÉLECTRICITÉ À L'AIDE D'UN PANNEAU SOLAIRE EN MILIEU RURAL

D. SORO^{1*}, B. T. J. ZOMI¹, MAZABALO BANETO², B. FOFANA¹,
N. A. YAO¹ et B. MARI³

¹*Ecole Normale Supérieure (ENS) d'Abidjan, Département des Sciences et Technologie, 08 BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire*

²*Université de Lomé, Laboratoire sur l'Energie Solaire, BP 1515 Lomé, Togo*

³*Departament de Física Aplicada-IDF, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, 46022 València, Spain*

* Correspondance, e-mail : donafologosoro@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'Etat de Côte d'Ivoire dans sa politique de l'école pour tous a initié, à travers son ministère de l'éducation nationale et de la formation professionnelle, la création de nombreux collèges de proximité dans plusieurs localités reculées du pays. Cependant, une bonne partie de ces collèges ruraux ont des difficultés structurelles dues au manque d'électricité. Ceci est un frein pour la réalisation de certaines activités pédagogiques en général et en particulier d'un bon nombre de travaux pratiques en physique et en chimie. Le présent travail a pour but l'électrification des laboratoires desdits collèges grâce à un panneau solaire photovoltaïque. C'est une technologie innovante qui en plus de combler le manque d'électricité dans ces établissements scolaires de proximité permet de lutter contre le réchauffement climatique. Des Travaux Pratiques en physique ont été réalisés à partir d'un panneau solaire photovoltaïque à l'Ecole Normale Supérieure (ENS)d'Abidjan. La majorité des appareils en milieu scolaire fonctionnant avec le courant électrique ont été mis sous tension grâce à ce système et certains travaux pratiques ont été réalisés avec satisfaction.

Mots-clés : *collèges de Proximité, électricité, panneaux solaires, conversion photovoltaïque, travaux pratiques.*

ABSTRACT

Realization of practical work in electricity using a solar panel in a rural environment

The State of Côte d'Ivoire in its policy of school for all has authorized, through its Ministry of National Education and Vocational Training, the creation of many colleges of proximity in several remote localities of the country. However, many of these rural colleges have structural difficulties due to lack of electricity. This is a hindrance to the realization of certain pedagogical activities in general and in particular some practical work in physics and chemistry. The present work aims to electrify the laboratories of said colleges through a solar panel. It is an innovative technology that in addition to fighting against global warming can fill the lack of electricity in these local schools. Some Practical work in physics was carried out from the photovoltaic solar panel. The majority of school-based appliances powered by electricity have been energized by this system and some practical work has been done with satisfaction.

Keywords : *proximity colleges, electricity, solar panels, photovoltaic conversion, practical works.*

I - INTRODUCTION

Dans le souci de rapprocher les élèves et en particulier les filles de leurs parents pour un meilleur suivi d'une part et d'éviter d'autre part les grossesses à risque en milieu scolaire, le gouvernement ivoirien, a décidé en 2009 de construire un nombre important de collèges en milieu rural [1 - 4]. Cependant cette volonté du gouvernement visant à vulgariser les établissements secondaires dans ces zones rurales se trouve être contrariée par un certain nombre de facteurs exogènes liés à l'accès à l'électricité. Cette inaccessibilité est plus sévère dans les écoles en zones rurales où plus de 9 écoles sur 10 n'ont pas cette source d'énergie [5]. Le développement passe par l'accès à l'électricité [6, 7]. Les différentes expériences dans ce domaine montrent que cet accès permet une élévation du niveau de vie, et a un impact positif sur plusieurs aspects de la vie sociale. Des institutions comme la Banque Mondiale, les Nations Unies ou encore l'Union Européenne considèrent l'énergie comme essentielle pour promouvoir ou améliorer une série de services de bases dans les établissements de santé et de l'éducation [8]. C'est pourquoi la production d'énergie reste un défi d'une importance capitale dans les années à venir. En effet, les besoins en énergie des pays industrialisés vont croissants. Les pays en développement quant à eux, auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement [9]. Or de nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles (gaz naturel, pétrole,

charbon, etc.) avec une consommation donnant lieu à des émissions de gaz à effet de serre entraînant une augmentation de la pollution de l'environnement dont l'une des conséquences aboutit au réchauffement climatique qui peut être un frein au développement durable [10]. Traditionnellement et particulièrement en Côte d'Ivoire, l'électrification rurale s'effectue par l'extension du réseau électrique. Cette extension repose sur une gestion centralisée des lignes à haute et moyenne tension et nécessite un important effort de planification qui oblige les gouvernants à ne se limiter qu'aux grandes agglomérations et laissant ainsi les zones reculées et à faible densité de peuplement livrées à elles-mêmes. C'est le cas d'une bonne partie des zones rurales où se trouvent être implantés bon nombre de ces établissements secondaires de proximité. Ces zones pour la plupart bénéficient partiellement ou pas du tout de la couverture du réseau de distribution de la CIE. Par conséquent un besoin réel d'alimentation en électricité des dites écoles s'avère comme une nécessité et dont la non satisfaction peut faire d'elles des établissements de second choix. Pour corriger cette disparité régionale, d'autres alternatives s'imposent comme une panacée dans le moyen et le long terme. L'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques comme source d'énergie pour alimenter les écoles de proximité est une solution à envisager.

En effet de nos jours l'utilisation des énergie renouvelable en général et les panneaux solaires photovoltaïques en particulier suscitent de plus en plus d'engouement chez les populations pour deux raisons essentielles [11]. La première raison est liée à son caractère non polluant c'est-à-dire qu'elle respecte l'environnement tout en luttant contre le réchauffement climatique. C'est une source d'énergie renouvelable. La Côte d'ivoire a modifié sa stratégie de vulgarisation de l'énergie solaire et entend porter la part d'énergie renouvelable dans sa production d'énergie électrique à 42 % à l'horizon 2030 contre 15 % aujourd'hui [12]. La seconde raison est en lien avec son caractère inépuisable et sa disponibilité partout car elle provient du soleil [13]. Ce sont ces raisons qui d'ailleurs motivent le choix de cette étude à savoir la réalisation de travaux pratique en électricité à l'aide d'un panneau solaire en milieu rural. Le présent travail porte donc sur un projet d'électrification des écoles de proximités qui n'ont pas accès à l'électricité pour leur fonctionnement. La technologie utilisée est celle des panneaux photovoltaïques. C'est une technologie novatrice dont l'objectif est de pallier le manque d'électricité dans les collèges de proximité et de lutter contre les émissions des gaz à effet de serre.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II - 1. Les différents éléments du système pour la réalisation des travaux pratiques (TP) avec l'énergie solaire photovoltaïque

La réalisation des travaux pratiques (TP) en électricité à partir d'une installation solaire photovoltaïque est particulièrement une nouveauté dans l'utilisation des sources d'énergie pour des besoins en milieu scolaire en Côte d'Ivoire. De ce fait, la prise en compte parfaite de tous les contours ou paramètres de ce projet novateur nous amène à lever un coin de voile sur ce qui pourrait être un obstacle à sa réussite totale.

II-1-1. Dispositif solaire

Le système solaire photovoltaïque se compose des éléments suivants : Deux panneaux solaires photovoltaïques de 50 Watts chacun (en polycristallin) qui jouent le rôle d'un générateur électrique de courant continu en présence des rayons solaires. Un régulateur (solar charge controller de 12V/24V- 10A) de charge et de décharge qui contrôle la charge et limite la décharge des batteries. C'est un appareil complètement autonome qui réalise toutes les opérations de mesure et de correction de la charge. Il affiche également l'état de fonctionnement du module PV et l'état de charge des batteries solaires intégrées au dispositif. Deux batteries de type 6-CNFJ-40 (12V, 40Ah) pour panneau solaire qui vont nous permettre de stocker l'électricité produite par les deux modules afin de l'utiliser plus tard et au besoin en absence du soleil. Un onduleur de 500 Watts communément appelé convertisseur qui convertit la tension continue des batteries ou générateur photovoltaïque en une tension alternative de 220V identique à celle du réseau domestique et qui nous permettra aisément d'effectuer nos TP. A tout cela il faut ajouter les câbles pour l'interconnexion des différents éléments de l'installation. Cette étude s'est faite à l'Ecole Normale Supérieure (ENS) d'Abidjan qui bénéficie de la majorité des appareils se trouvant dans les lycées et collèges. La **Figure 1** montre le schéma de principe d'une alimentation électrique autonome utilisant l'énergie solaire. Le flux de l'énergie est indiqué par les flèches.

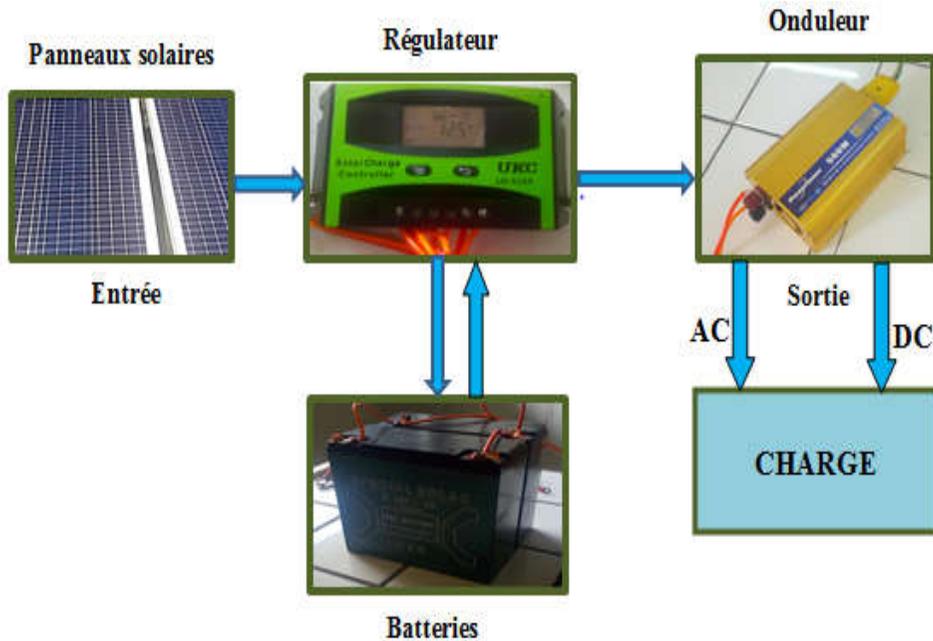


Figure 1 : Schéma d'une installation de conversion photovoltaïque

Il est aussi à souligner que les appareils fonctionnant en courant continu sont directement alimentés à partir des panneaux solaires sans forcément passer par l'onduleur.

II-1-2. Présentation des matériels didactiques des TP selon les guides et programmes en vigueur

Les matériels que nous présentons ici sont ceux utilisés dans les Lycées et Collèges en Côte d'Ivoire selon le guide et programme en vigueur et qui nécessitent directement une source d'alimentation du secteur. Ce sont les générateurs (Générateur Basse Fréquence (GBF), Générateur Très Basse Fréquence (GTBF), Générateurs de Fonction 3 (GF3), les générateurs de tension réglable), les oscilloscopes et les autres appareils de laboratoires que sont le moteur électrique ; le dispositif de synthèse de la lumière, le banc d'optique, la machine de Whimshurt, la source laser, le rétroprojecteur l'ordinateur, le projecteur de diapositive, le tube à rayon cathodique, le banc à coussin d'air). La liste n'est pas exhaustive. Parmi ces matériels inventoriés ci-dessus, d'autres seront utilisés pour nos travaux pratiques à l'aide de panneaux solaires photovoltaïque ; ce sont : un générateur de fréquences, un générateur de tension réglable et continue puis un oscilloscope.

II-2. Travaux pratiques réalisés

II-2-1. Visualisation des différents types de signaux

L'ensemble du matériel utilisé se compose d'un interrupteur, d'un résistor, d'un GF3 et d'un oscilloscope. L'oscilloscope est un appareil qui permet de visualiser et de mesurer la tension afin de déterminer ses caractéristiques en fonction du temps. Ses mesures sont moins précises que celles d'un multimètre numérique.

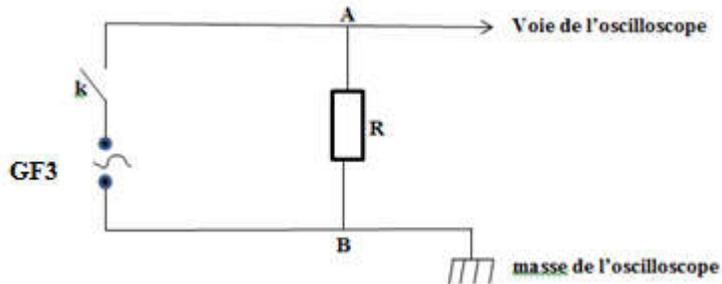


Figure 2 : Schéma simplifié pour la visualisation de différents types de signaux

Le protocole expérimental et les manipulations sont les mêmes que ceux employés avec le courant conventionnel. Quand l'on ferme l'interrupteur et avec les réglages de l'oscilloscope on observe des signaux à l'écran celui-ci. Ainsi à l'aide du générateur de fonction on a pu obtenir les autres formes de signaux tel que le signal de la tension alternative sinusoïdale, celui de la tension en créneaux et enfin celui de la tension triangulaire. Les réglages de l'oscilloscope à cette occasion étaient :

- Sensibilité verticale k_v : 0,5V/div ;
- Sensibilité horizontale k_h : 0,2ms/div.

Ces réglages vont nous permettre de déterminer au besoin les caractéristiques des tensions visualisées.

II-2-2. Redressement mono alternance de la tension alternative

On introduit dans le montage précédent une diode à jonction comme l'indique le **Figure 3**. Son fonctionnement macroscopique est assimilable à celui d'un interrupteur commandé qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Cette propriété lui ouvre un champ d'application assez vaste en électronique. C'est la diode qui va permettre le redressement mono alternance de la tension alternative.

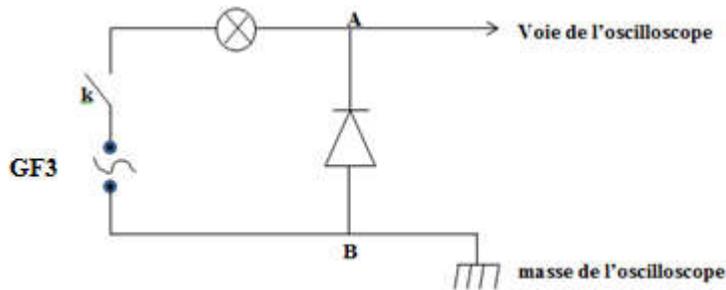


Figure 3 : Schéma simplifié pour la visualisation du redressement mono alternance

II-2-3. Redressement double alternance de la tension alternative

Pour le redressement double alternance, on utilise un pont de diode aussi appelé pont de Graetz **Figure 4**. C'est un assemblage en pont de 4 diodes permettant de redresser le courant alternatif en courant continu. Bien qu'il y ai d'autres montages pour redresser le courant, ce montage reste le moyen le plus répandu pour réaliser cette fonction.

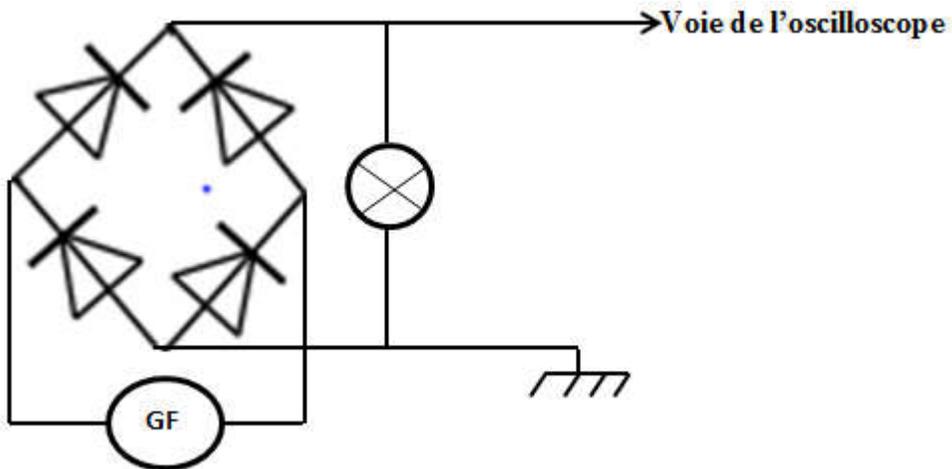


Figure 4 : Schéma simplifié pour la visualisation du redressement double alternance

II-2-4. Lissage d'une tension alternative redressée

On arrive à obtenir le lissage d'une tension alternative redressée en faisant intervenir un condensateur de grande capacité monté en dérivation aux bornes du pont de diode **Figure 5**. En effet après le redressement, la tension de sortie est positive mais n'est toujours pas constante. Pour lisser cette tension, la

transformée en tension continue, on utilise donc un condensateur de filtrage qui va stocker l'énergie lorsque la tension est proche de son maximum et la restituer pendant les 'trous', lorsque la tension est faible. Plus la capacité du condensateur est grande, plus celui-ci va lisser la tension.

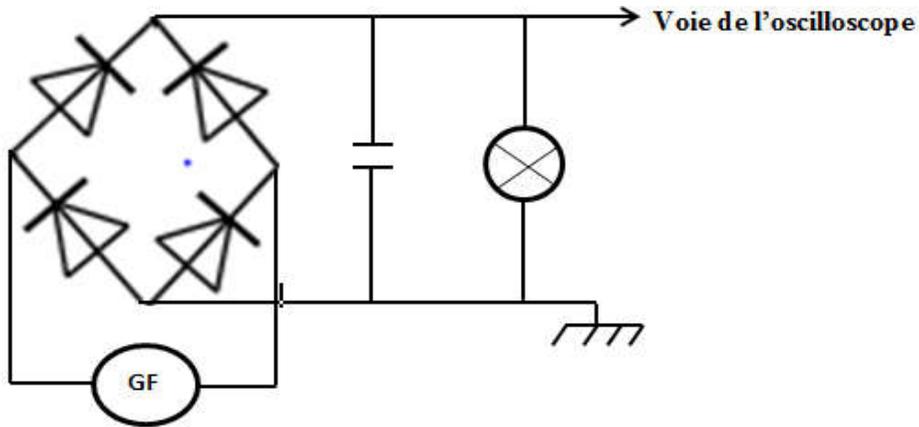


Figure 5 : Schéma simplifié pour la visualisation du lissage d'une tension redressée double alternance

II-2-5. Caractéristique d'un conducteur ohmique

Pour réaliser cette manipulation, nous avons besoin d'un interrupteur, d'un conducteur ohmique, d'un rhéostats d'une alimentation courant continu, de multimètres et de fils de connexion.

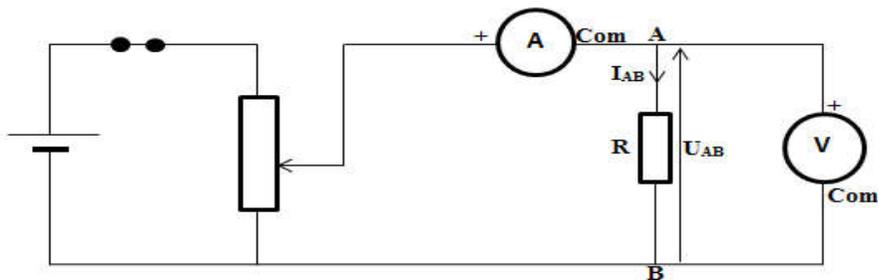


Figure 6 : Schéma simplifié pour la détermination de la caractéristique d'un conducteur ohmique

Le générateur de tension continue est alimenté par un générateur PV à la sortie de l'onduleur. On réalise un montage potentiométrique qui permet d'obtenir une tension variable (**Figure 6**). On fait varier la tension aux bornes du conducteur ohmique à l'aide du curseur du potentiomètre puis on relève pour

chaque valeur de la tension l'intensité correspondante ; ce qui nous permettra de dresser un tableau de mesures afin de tracer la caractéristique courant tension du résistor.

II-2-6. Caractéristique d'une diode à jonction

Les supports didactiques, les protocoles et montages expérimentaux restent toujours les mêmes que dans le cas de l'expérience avec le courant conventionnel. Les moyens et les supports didactiques : Interrupteur, Fils de connexion, diodes, potentiomètre (rhéostat), alimentation de courant continu, multimètres.

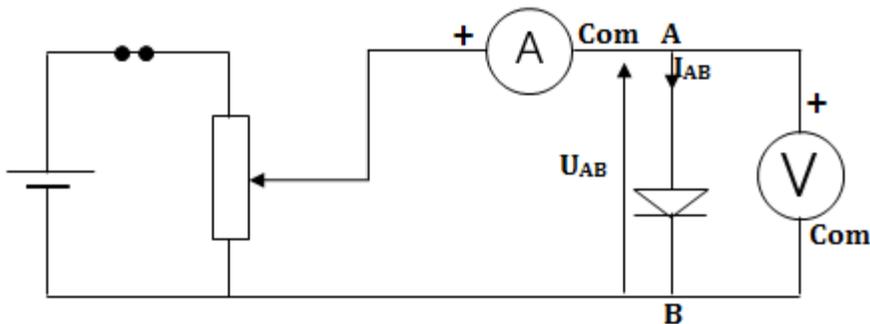


Figure 7 : Schéma simplifié pour la détermination de la caractéristique d'une diode à jonction

On fait varier la tension aux bornes de la diode à l'aide du curseur du potentiomètre puis relève pour chaque valeur de la tension l'intensité correspondante ; ce qui nous permettra de dresser un tableau des mesures afin de tracer la caractéristique.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Visualisation des différents types de signaux

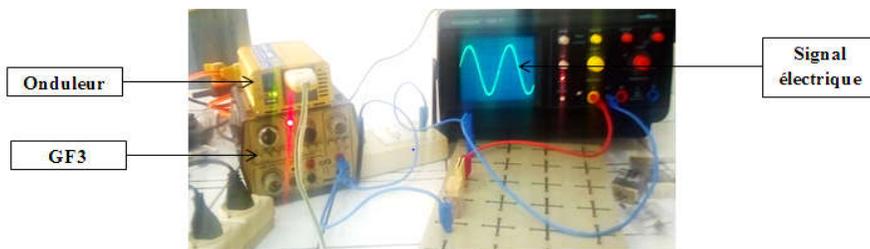


Figure 8 a

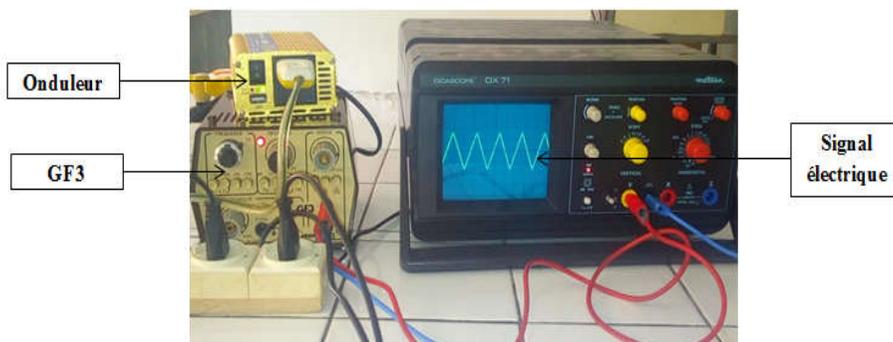


Figure 8 b

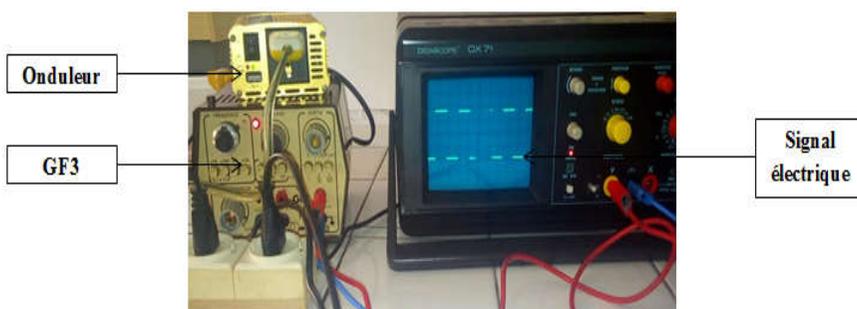


Figure 8 c

Figure 8 : Visualisation de différents types de signaux

Les courbes obtenues à l'oscilloscope en utilisant l'énergie solaire sont identiques à celles que l'on obtient avec le courant du secteur et que l'on retrouve dans la littérature [14]. Le signal sinusoïdal est un signal dont l'amplitude, observée à un endroit précis, est une fonction sinusoïdale du temps. Le signal triangulaire décroît de manière régulière, lui conférant la forme dont il tire son nom. Le signal carré, quant à lui, est un signal périodique qui varie entre deux valeurs distinctes : une valeur haute et une valeur basse. Ce signal passe de manière quasiment instantanée du niveau bas au niveau haut alternativement comme l'indique la **Figure 8 c**. On constate que la visualisation d'une tension avec un oscilloscope qui jusque-là était faite avec le courant du secteur (CIE), peut s'effectuer également à partir d'un panneau solaire photovoltaïque. On observe les mêmes phénomènes physiques sur l'écran de l'oscilloscope comme le montre les **Figures 8 a, b et c**.

III-2. Redressement simple ou mono alternance



Figure 9 : *Visualisation du redressement mono alternance*

Le principe du redressement simple alternance est basé sur les propriétés des diodes. En effet, la diode se bloquant lorsque la tension à ses bornes est négative, elle supprime les alternances négatives du signal d'entrée. Pendant les alternances positives, elle se comporte comme un interrupteur fermé et n'altère donc pas le signal d'entrée. La diode joue ainsi le rôle de coupure qui laisse passer les tensions positives et coupe les tensions négatives. Le signal de la **Figure** obtenu à l'aide d'un générateur alimenté par l'énergie solaire présente la même forme que celle que l'on retrouve dans la littérature lorsque le GBF est alimenté avec le courant du secteur [15]. On constate que les alternances négatives ont disparu dans le circuit contenant la diode **Figure 9**. Une diode permet donc de faire un redressement simple alternance d'une tension alternative.

III-3. Redressement double alternance

Un redresseur double alternance est un redresseur redressant les alternances négatives et conservant les alternances positives du courant à l'entrée.

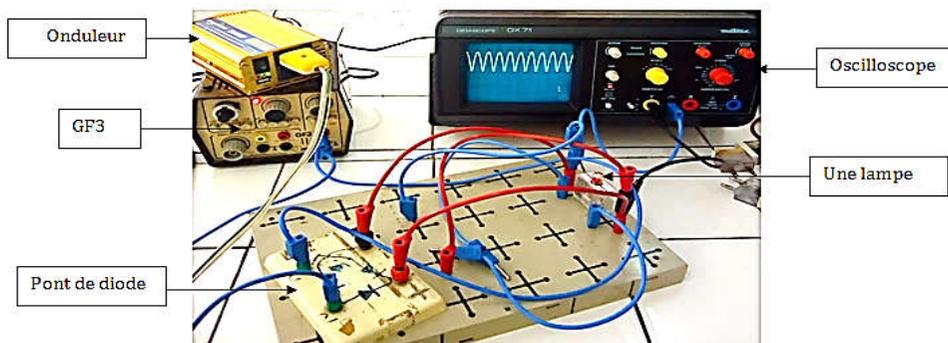


Figure 10 : *Visualisation du redressement double alternance*

Par comparaison avec la **Figure 10** nous avons les mêmes formes de courbes avec les **Figure 9**. Ici, l'alternance négative qui s'annulait est inversée : on parle de redressement double alternance. Le pont de diode conserve les alternances positives et remplace les alternances négatives par leurs symétriques. Il permet un redressement double alternance d'une tension alternative sinusoïdale. Le courant et la tension aux bornes de la charge sont toujours positifs unidirectionnels

III-4. Lissage de la tension redressée

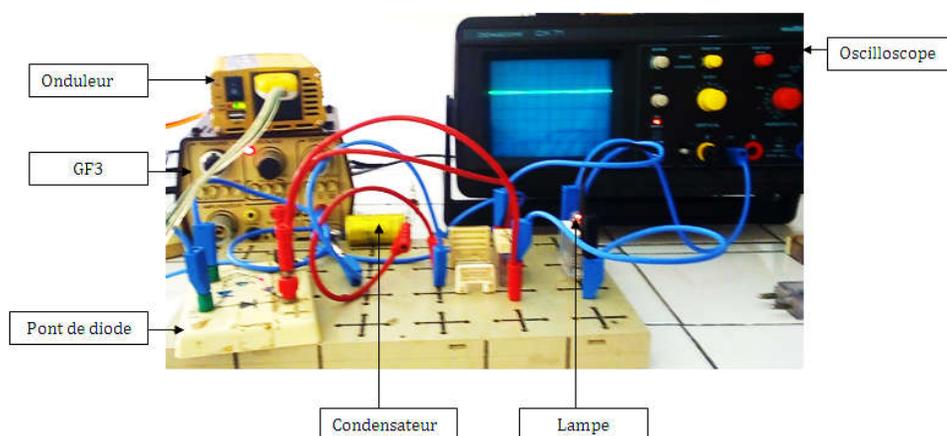


Figure 11 : Visualisation du lissage d'une tension alternative sinusoïdale

On obtient une tension lissée presque continue sur la **Figure 11**. Le condensateur a pour propriété de s'opposer à toutes variations brusques de tension, il empêche la tension minimale de sortie du redresseur d'atteindre un potentiel nul. La charge du condensateur maintient plutôt cette tension minimale tout près de la valeur maximale. Pour avoir un meilleur lissage, il faut utiliser un condensateur de très grande capacité. Ainsi, du redressement simple ou mono alternance jusqu'aux lissages en passant par la double alternance de la tension sinusoïdale effectués à partir de l'énergie solaire photovoltaïque. Il n'y a pas de différence fondamentale au niveau des phénomènes physiques entre ce qu'il nous est donné de rencontrer dans la littérature [16] habituellement concernant ces mêmes phénomènes avec le courant conventionnel et ce qui observé sur les **Figures 8, 9, 10 et 11**.

III-5. Caractéristique d'un conducteur ohmique.

Le montage de la **Figure 6** nous a permis de dresser le **Tableau 1**. Avec ces différentes valeurs, nous avons pu tracer à l'aide de l'outil Excel la caractéristique tension – courant $U = f(I)$ du conducteur ohmique :

Tableau 1 : *Tableau de valeurs de la caractéristique d'un conducteur ohmique avec l'énergie solaire*

U(V)	-2,7	-2,32	-1,93	-1,54	-1,16	0	1,16	1,54	1,93	2,32	2,7
I(mA)	-70	-60	-50	-40	-30	0	30	40	50	60	70

La **Figure 12** présente les caractéristiques d'un conducteur ohmique obtenues à l'aide de l'énergie solaire. Le graphique obtenu en représentant les variations de la tension aux bornes d'un dipôle en fonction de l'intensité du courant qui le traverse. Les courbes ($U = f(I)$) présentent les mêmes allures aussi bien avec le courant du secteur qu'avec l'énergie solaire et passent toutes les deux par l'origine du repère. A chaque point de la droite correspond son symétrique par rapport à l'origine du repère. La tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Le coefficient de proportionnalité correspond à la résistance du conducteur ohmique. C'est un dipôle symétrique. L'équation de la droite est de la forme $U = RI$: Le conducteur ohmique est un dipôle passif et linéaire.

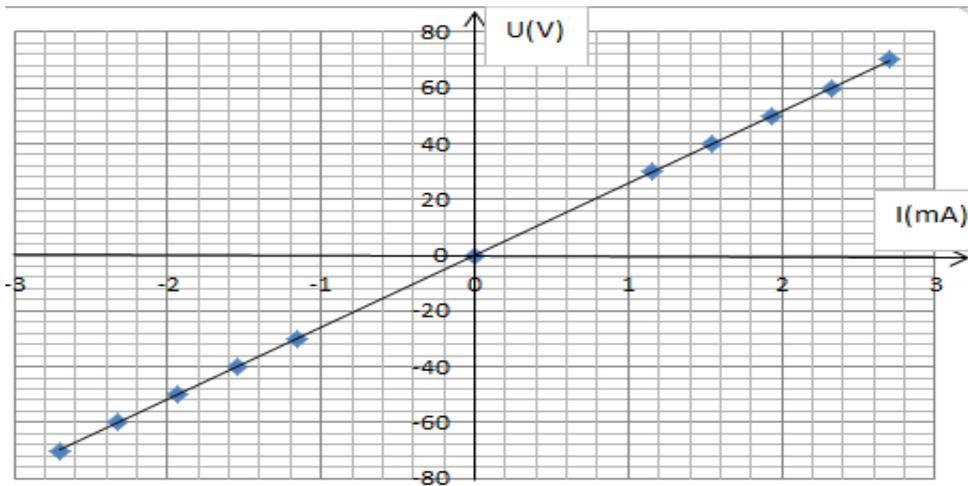


Figure 12 : *Caractéristique d'un conducteur ohmique avec l'énergie solaire*

III-6. Caractéristique d'une diode

Le montage de la **Figure 8** nous a permis de dresser le **Tableau 2**.

Tableau 2 : *Tableau de valeurs de la caractéristique d'une diode à jonction avec l'énergie solaire*

U(V)	-2	-1	0,53	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,70	0,74
I(mA)	0	0	0,5	2	2,5	3	3,5	4,1	5	6	17	40

A l'aide de l'outil Excel, on a tracé la caractéristique courant-tension, $I = f(U)$, de la diode à jonction (**Figure 13**).

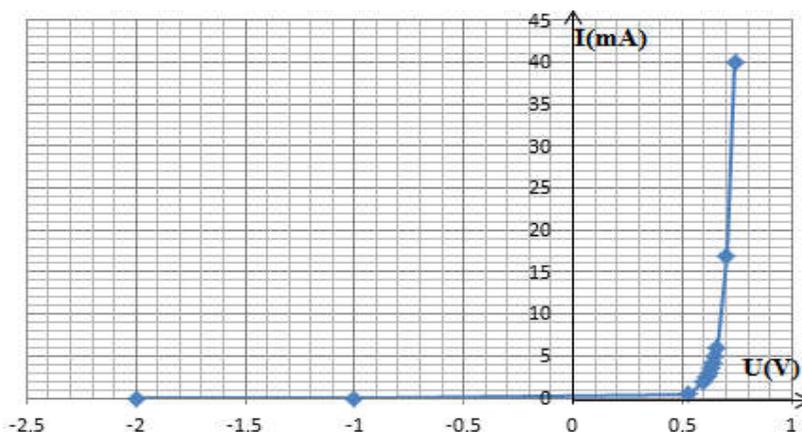


Figure 13 : Caractéristique d'une diode avec l'énergie solaire

En directe, la caractéristique de la diode est une exponentielle au départ, puis elle tend à devenir linéaire. Pour le graphe de la **Figure 13**, lorsque la tension aux bornes de la diode $U < 0,52V$, le courant est nul ($I = 0$) : La diode est bloquée et elle se comporte comme un interrupteur ouvert, aucun courant ne passe. Pour $U \geq 0,52V$, $I \neq 0$: La diode est dite passante, elle se comporte comme un conducteur ohmique de faible résistance. Notons que 0,52 volt représente la tension seuil de la diode. La courbe n'étant pas une droite, nous parlons d'un élément non-linéaire. Ce qui signifie que le courant circulant dans l'élément n'est pas proportionnel à la tension qui lui est appliquée, donc ne dépend pas uniquement de la loi d'Ohm. Les deux caractéristiques de la diode présentent les mêmes allures comme en témoignent les différents graphes aussi bien pour le courant du secteur [17] que pour l'énergie solaire.

IV - CONCLUSION

Ce travail nous a permis de réaliser des travaux pratique en physique avec l'énergie photovoltaïque. Nous avons visualiser différents types de signaux à l'aide d'un oscilloscope, redresser des tensions alternatives sinusoïdales avec une diode puis un pont de diodes. Nous avons également lissé ces tensions redressées obtenues à l'aide de condensateurs et enfin fait des mesures et tracer la caractéristique d'un conducteur ohmique. Au regard des résultats obtenus, la pratique des TP en l'électricité dans les programmes scolaires de la Côte d'Ivoire à l'aide d'un panneau solaire photovoltaïque est possible. Désormais avec cette initiative, les difficultés constatées çà et là lors des pratiques expérimentales et liées au manque d'électricité dans les collèges de proximité peuvent être résolues.

RÉFÉRENCES

- [1] - Collèges de proximité. Laurent Cortese, responsable éducation AFD Côte d'Ivoire, un blog sur l'éducation dans les pays du sud, 2009. <http://varlyproject.wordpress.com/2017/05/12/>. consulté le 12/ 02/ 2018
- [2] - <http://aip.ci/cote-divoire-11-colleges-de-proximite-prevus-dans-les-gros-villages-de-la-region-du-belier/> publié le 11 nov. 2017 et consulté le 12/ 02/ 2018
- [3] - <https://www.fratmat.info/index.php/nos-unes/bayota-marcel-amon-tanoh-a-inaugure-le-college-de-proximite-de-zahibohio> 6 mars 2018 et consulté le 12/ 02/ 2018
- [4] - ABOU FOFANA, Écoles rurales, vers des orientations nouvelles : l'exemple des écoles de proximité en Côte d'Ivoire, HAL archives ouvertes.fr , Colloque de Ouagadougou, (8-10 mars 2012)
- [5] - DIRECTION DE LA PLANIFICATION, DE L'EVALUATION ET DES STATISTIQUES, Rapport d'aNaLYSE StatISTIQUE, (2013-2014)
- [6] - VICTOR BEGUERIE, Impact de l'accès à l'énergie sur les conditions de vie des femmes et des enfants en milieu rural : analyse d'impact du programme des plate-formes multifonctionnelles au Burkina Faso, HAL archives ouvertes.fr , Thèse de doctorat ès Sciences Economiques, (5 Mai 2015)
- [7] - TORERO, MAXIMO. « L'impact de l'électrification rurale : enjeux et perspectives », *Revue d'économie du développement*, Vol. 23, No. 3 (2015) 55 - 83 p.
- [8] - KAMDEM KAMDEM MAXIME, La Contribution de l'Energie à la Réduction de la Pauvreté en Milieu Rural au Cameroun, TRUSTAFRICA, (April 2012)
- [9] - Centre Permanent pour la Citoyenneté et la Participation, Les différents modes de production d'électricité, CPCP asbl – novembre 2007
- [10] - <http://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/ouvrages/memento-sur-energie-2016.pdf> consulté le 11-10-2018
- [11] - ADEME, Le rapport NSR (National Survey Report of PV Power Applications in France) est un état des lieux détaillé de la filière en France, (2015)
- [12] - Rapport de la BAD, Agence de Presse Régionale - APRnews Filiale du groupe Central Trade Groupe LDA, (décembre 2017)
- [13] - <https://www.energies-renouvelables-afrique.com/fiche-pays-cote-divoire/> consulté le 17/06/2018
- [14] - ABDALLAH DARKAWI, Guide d'utilisation d'un oscilloscope numérique cas du RIGOL DS1054Z, (6 sept. 2016)
- [15] - <https://fr.scribd.com/doc/57735082/TP-Electronique-REDRESSEMENT-FILTRAGE-par-Armel-Sitou-Afanou> consulté le 11-10-2018
- [16] - http://physiquefos.free.fr/physique/electricite/3eme/production_tension/redressement.htm consulté le 11-10-2018
- [17] - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Diode> consulté le 11-10-2018