

Effets de quelques paramètres physico chimiques sur l'électricité de *Bromelia Vriesea* via une PCM-P

Y.M. Azri *, I. Tou et M. Sadi

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzareah 16340, Alger, Algérie

(reçu le 20 Septembre 2017 - accepté le 28 Septembre 2017)

Résumé - Les piles microbiennes à plante sont des technologies pour la production d'énergies propres et renouvelables basées sur la photosynthèse. Dans cette étude, nous démontrons dans un premier temps la faisabilité de la conversion directe de l'énergie solaire captée par la plante en électricité, la tension maximale produite en circuit ouvert est de 0.3 V. L'effet de la composition de l'eau influe significativement sur la tension indiquant le rôle des sels minéraux pour le système électrochimique et pour la vitalité de la plante. Le processus de la photosynthèse est lié directement à l'influence de la lumière et le pH du sol augmenterait la tension produite. La plante *Bromelia Vriesea* présente un outil biologique intéressant pour la production de bioélectricité en optimisant les conditions physico-chimiques (pH du sol, lumière, type de plante) et électrochimiques (matériaux d'électrodes).

Abstract - Plant microbial fuel cell are technologies for the clean and renewable energies production based on photosynthesis process. In this study, we first demonstrate the feasibility of direct conversion of solar energy captured by the plant, into electricity, 0.3 V outputed in open circuit voltage. The water composition influences the tension generated showing role of mineral salts in the electrochemical system and for the vitality of the plant. The photosynthesis process is directly related to the light influence and the soil pH increases the voltage produced. The plant *Bromelia Vriesea* presents is an interesting biological tool for the production of bioelectricity by optimizing the physicochemical conditions (pH of the soil, light, type of plant) and electrochemical (electrode materials).

Mots clés: *Bromelia Vriesea* - PCM-P - Bioélectricité - Electrogénéicité - Voc - Tension du courant.

1. INTRODUCTION

La production d'énergie renouvelable est l'un des plus grands défis actuels à relever dans le domaine de la recherche scientifique. Cette énergie devrait être sous forme d'électricité ou de carburant idéalement produite à partir de source renouvelable via un processus de conversion efficace et propre [1]. La conversion de l'énergie solaire par les plantes représente une biotechnologie prometteuse pour produire de l'électricité à travers l'utilisation des piles à combustible microbienne (PCM).

Les PCMs utilisant les plantes supérieures vivantes sont appelées piles à combustible microbienne à plante PCM-P [1]. Grâce à la photosynthèse, les plantes libèrent certains composés nutritifs dans le sol à travers leurs racines sous forme d'exsudats, lysats et autres sécrétions[2]. Les bactéries présentes dans le sol près des racines dégradent ces sécrétions et libèrent des électrons produisant un courant électrique. Des protons, électrons et du dioxyde de carbone sont produits à mesure que les électrons microbiens sont utilisés pour la production d'électricité tout comme dans la pile à combustible microbienne [3].

* y.azri@cder.dz

Le sol représente un substrat contenant des microorganismes aérobies et anaérobies, les bactéries aérobies réduisent l'oxygène et facilitent aux bactéries anaérobies le transfert des électrons vers l'anode [4].

Pour extraire la puissance de la pile, généralement deux électrodes de graphite sont utilisés. L'anode est enterrée dans le sol, alors que la cathode est placée à la surface du sol, et exposée à l'oxygène de l'air.

Suite à l'article paru dans la Revue des Energies Renouvelables en 2015 où nous nous sommes intéressés à l'étude de faisabilité de la production d'électricité à travers des plantes vivantes issues du jardin du Centre. Une nouvelle étude a été entreprise par un groupe d'étudiantes explorant d'autres plantes, ainsi que les paramètres physico-chimiques en adéquation, tels que le pH du sol et la composition chimique de l'eau d'arrosage.

La réalisation expérimentale de cette étude s'est effectuée en collaboration avec trois étudiantes en licence, dans le cadre de leur projet de fin d'étude en examinant la plante étudiée, le *Bromelia vriesea*.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Sélection de la plante

La *Bromelia Vriesea* est originaire d'Amérique Centrale et du Sud. C'est une plante des forêts tropicales qui pousse sous lumière indirecte. La terre de la plante est généralement humide, ce qui est favorable à l'application des piles à combustible microbienne à plante. La plante doit croître à une température supérieure à 13 °C, avec un optimum d'environ 21 °C, ce qui correspond à la température ambiante du laboratoire.



Fig. 1: Configuration des piles à plantes

2.2 Montage de la pile à plante

Six plantes de 30 cm de hauteur (*Bromelia vriesea*) ont été plantées dans des pots en PVC. Elles ont fait l'objet de différents tests expérimentaux, les performances de la pile microbienne à plante (PMP) ont été continuellement évaluées pendant deux mois (Décembre 2016-Janvier 2017).

Deux électrodes en graphite ont été utilisées. L'anode était placée verticalement au niveau des racines et la cathode était placée à la surface du sol exposée à l'air sans présence de membrane échangeuse de cations séparant les compartiments anodique et

cathodique. Les plantes ont été arrosées avec 100 ml d'eau avec un intervalle régulier de 03 jours.

L'activité électrique des PMP's a été mesurée en enregistrant l'intensité du courant I à résistance externe constante $R = 100 \Omega$, ainsi que la tension en circuit ouvert V_{co} . Les valeurs ont été prélevées quotidiennement en utilisant un multimètre de marque Fluke.

Dans cette étude, nous décrivons l'influence de différents paramètres physico-chimiques sur la pile à plante en évaluant la génération de la bioélectricité via *Bromelia vriesea*.

2.3 Modification des paramètres

Afin de mettre en évidence la production du courant avec *Bromelia vriesea*, une série d'expérimentations a été mise en œuvre notamment l'influence de la lumière, le pH du sol, la présence de sels minéraux, ainsi que l'effet de la coloration des plantes utilisées.

Chaque paramètre modifié est comparé avec une plante témoin qui n'a subi aucun changement avec modification d'un seul paramètre à chaque fois afin de déterminer le rôle de chacun dans la production de la bioélectricité à partir de la plante.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Faisabilité de la production d'électricité via *bromelia vriesea*

La faisabilité de la production d'électricité en présence de la plante *Bromelia vriesea* a été mise en évidence à travers l'étude de l'évolution de la tension et du courant en fonction du temps avec et sans plante.

Le courant était faible, puis augmente progressivement avec le temps, cela pourrait s'expliquer par le temps nécessaire aux microorganismes de ce développement autour des racines et à la surface de l'anode. Les valeurs de la tension étaient plus élevées en présence de la plante en comparant au témoin sans plante.

Les plantes fournissent continuellement de la matière organique dans le sol tout au long de leur vie végétale [5], augmentant ainsi le nombre de bactéries rhizosphériques d'après plusieurs études, les exsudats de racines végétales, tels que les glucides, les acides carboxyliques et les acides aminés..., sont utilisés comme sources de carbone et d'énergie par les microorganismes rhizosphériques, influençant ainsi de manière significative la structure microbienne de la rhizosphère [6-8].

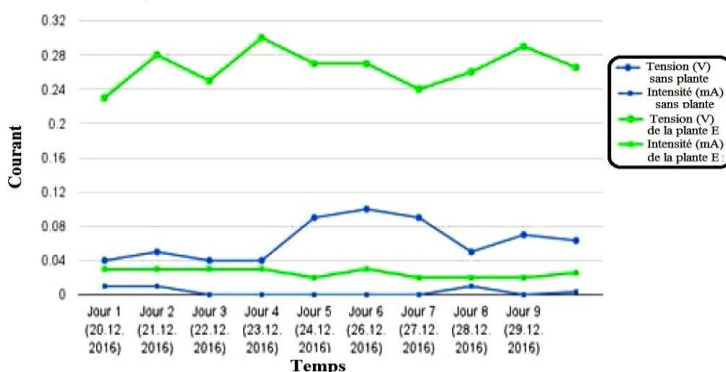


Fig. 2: Activité électrogénique de la pile – *Bromelia vriesea*

L'activité électrogénique est démontrée à travers la production de 0.3 V en présence de la plante et 0.03 V sans plante, cela est probablement dû aux produits de la photosynthèse déchargées au niveau des racines de *Bromelia vriesea*, stimulant l'activité des microorganismes rhizosphériques et ainsi de l'activité électrogénique.

La pile microbienne à plante témoin (plante E) avait un pH de 5.60 et n'a subi aucune modification lors des expériences.

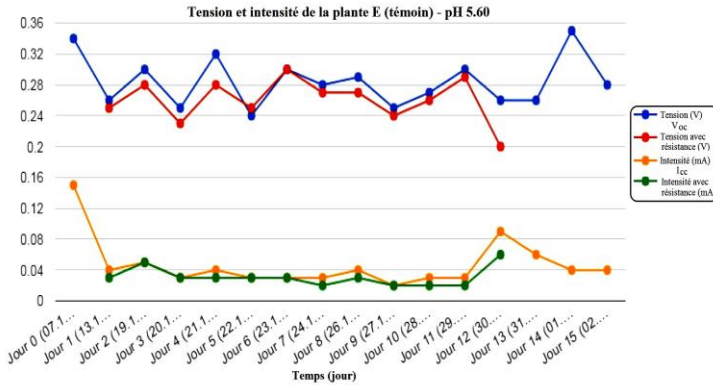


Fig. 3: Plante E sans modification de paramètre

La figure 3 montre une faible variation de tension entre 0.24 V et 0.35 V enregistrées sans résistance, tandis qu'en plaçant la résistance les valeurs de 0.20 V et 0.30 V ont été notées. Les intensités de courant étaient plus faibles et plus ou moins constantes sans et avec une résistance, elles avoisinent 0.039 mA. Pour une plante qui n'a subie aucune modification dans son environnement, sa production de courant électrique reste constante.

3.2 Effet des sels minéraux

Afin de vérifier le rôle des sels minéraux sur le rendement électrique de la pile à plante, une eau de composition minérale connue a été utilisée pour arroser la plante A était étudiée sur l'influence sur le rendement électrique. L'eau minérale est composée de: Na 6.2; Ca 5.6; Mg 0.53; Cl 1.77; SO₄ 6.1) mg/L.

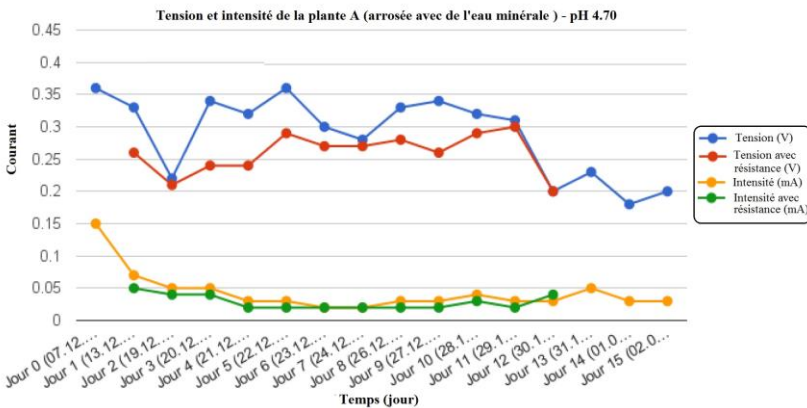


Fig. 4: Influence de l'arrosage par de l'eau minérale sur la pile à plante A

Selon la figure 4, au moment du premier arrosage avec de l'eau minérale (jour 2), la tension en circuit ouvert V_{Co} chute de 0.36 V à 0.22 V, ce qui est probablement due au temps d'accommodation de la plante au paramètre changé (eau minérale chargée).

Le troisième jour la tension V_{Co} remonte de 0.12 V et atteint 0.34 V, alors que la tension en circuit fermé est restée approximativement stationnaire de 0.24-0.3 V entre le jour 5 et le jour 11. Ceci est probablement dû aux sels minéraux de l'eau ayant augmenté la conductivité du système électrochimique de la pile à plante.

3.3 Effet de la photosynthèse sur la pile à plante

De croissance souvent lente, la *Bromélaia* a besoin d'une bonne exposition lumineuse sans ensoleillement direct. Théoriquement, plus la lumière est importante, plus la photosynthèse est efficace, jusqu'à un point optimal au-delà duquel elle ne s'améliore plus.

Chaque plante a une activité photosynthétique maximale pour une intensité lumineuse qui lui est propre. Afin d'optimiser la photosynthèse de la plante D, elle a été mise dans une chambre à part, sous un éclairage continu supérieur à celui subi par les autres plantes, en utilisant une lampe de Max 3.8 V, 3 W, 600 mA.

Afin de démontrer l'importance de la photosynthèse pour la production de bioélectricité via la pile microbienne à plante, la plante D a été mise dans une chambre obscure à partir du onzième jour.

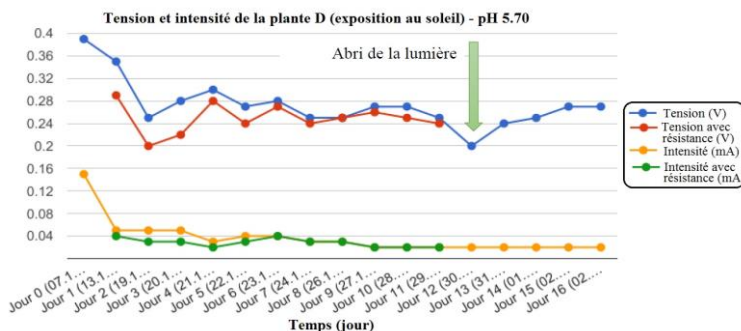


Fig. 5: Effet de la photosynthèse sur la pile à plante D

A partir du 11^{ème} jour, et après avoir mis la plante à l'obscurité, les valeurs de la tension V_{Co} déclinent jusqu'à 0.20 V, ce qui confirme que la photosynthèse est un paramètre clé dans la production d'énergie à partir d'une plante.

En effet, en captant les rayons du soleil par la plante, le CO_2 est fixé par la partie supérieure sous forme de carbohydrates, dont 70 % environ migrent vers les racines, ensuite libérés au niveau de la rhizosphère [9].

3.4 Influence de la pigmentation de la plante

Il a été constaté que les tensions et intensités du courant produites par des plantes de couleur rougeâtre étaient largement différentes des autres plantes, où la chloramine de la plante pouvait avoir un effet sur la production du courant. En effet, la couleur de la plante révèle sa composition chimique, car la couleur d'un pigment dépend des différentes longueurs d'ondes absorbées et diffusées par celui-ci.

La coloration des feuilles vertes par exemple provient de la chlorophylle localisée dans les membranes des chloroplastes ou dans d'autres organites de certaines cellules végétales. Ce pigment absorbe la lumière de la photosynthèse. Les flavonoïdes sont une

classe de pigment qui colore les fleurs, dont le rôle majeur est d'empêcher la pénétration des ultraviolets dans les cellules et protéger ainsi la plante.

Les anthocyanes, appartenant à la classe des composées flavonoïdes sont l'une des cellules organiques à pouvoir produire des teintes allant du jaune-orangé au bleu, en passant par le pourpre et le rouge. La couleur des anthocyanes dépend de la structure chimique et peut varier en fonction du pH du milieu [10].

En observant la figure 6, une fluctuation de la tension avec et sans résistance durant les 15 jours est observée, ayant comme valeurs maximales respectives 0.16 V et 0.18 V et comme valeurs minimales 0.23 V et 0.10 V. L'intensité du courant diminue progressivement à partir de 0.09 mA jusqu'au septième jour où elle a des valeurs presque nulles de 0.02 mA approximativement.

Les résultats obtenus par cette plante sont globalement plus faibles que les six autres plantes étudiées. Cela peut s'expliquer par la pigmentation plus claire de la plante qui a pu influencé négativement la production du courant.

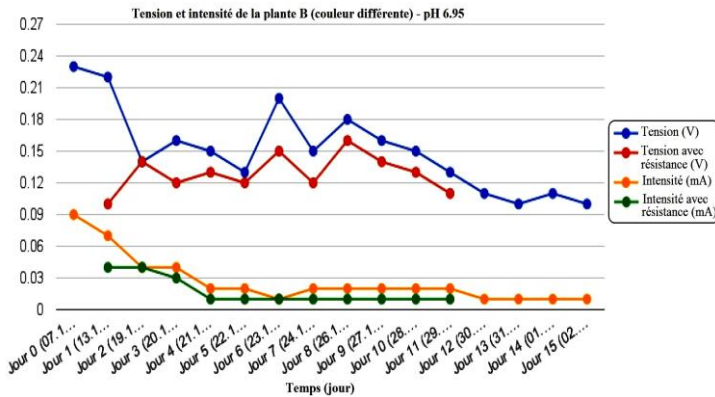


Fig. 6: Effet de la couleur sur la plante B

3.5 Influence du pH du sol

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité de cations qu'il peut retenir au niveau de son complexe adsorbant à un pH donné. La CEC est donc directement liée au taux de matière organique et au pH.

Dans un sol acide, les ions hydrogène (H^+) se lient à tous les anions de la solution du sol sans laisser de place aux cations bivalents (comme Ca^{2+} et Mg^{2+} ...), ce qui peut affecter par la suite le déplacement des cations et donc de la CEC. Ainsi en rendant un sol plus basique, favorise la CEC et le déplacement des électrons au niveau rhizosphérique [10].

La chaux et le soufre sont deux produits utilisés pour alcaliniser et acidifier le sol. En agriculture ils servent respectivement à lutter contre l'acidité des sols, qui a pour conséquence la perturbation de la nutrition des plantes en détruisant l'équilibre de restitution des éléments nutritifs.

A pH basique et en utilisant la chaux, le rendement baisse d'une manière significative dès les premiers jours (V_{Co} ou Tension à circuit fermé). Cependant, les valeurs étaient très irrégulières d'un jour à l'autre. En effet, ce n'est qu'à partir du 6^{ème} jour environ que les valeurs sont devenues constantes pour diminuer progressivement au 11^{ème} jour, où une baisse des valeurs du courant électrique était enregistrée, qui est probablement dû au sol basique en présence de la chaux.

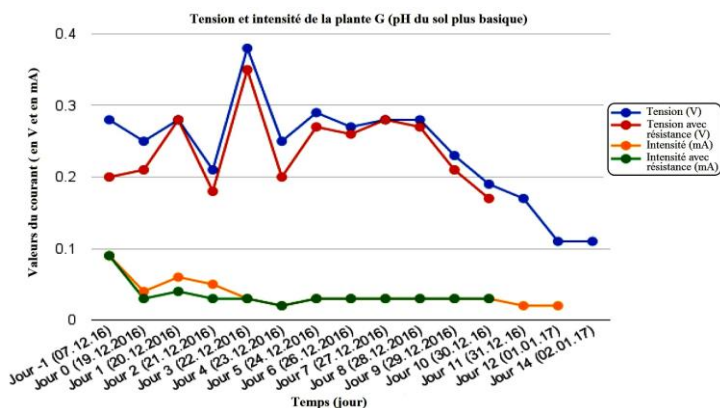


Fig. 7: Influence du sol basique sur le rendement électrogénique de la plante G

Selon la littérature, il existe plusieurs façons de rendre une terre plus acide [10], dont l'ajout du soufre peut permettre de baisser le pH de la terre, qui avait été introduit le premier jour de l'expérimentation (29/12/16).

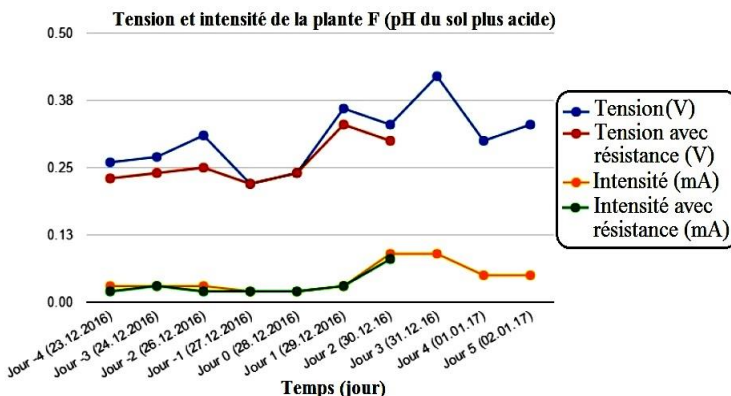


Fig. 8: Influence du sol acide sur la plante F

Les tensions produites par la plante F représentées sur la figure 8, montrent qu'à partir du 29 décembre (Jour 1) correspondant à l'ajout de l'acide, une augmentation exponentielle par des tensions a été enregistrée par rapport aux jours précédents, ce qui met en évidence l'effet positif du soufre sur le rendement du courant électrique.

Et même si les valeurs des intensités n'étaient pas forcément stables, elles sont en hausse, nous permettent de conclure qu'un milieu plus acide a un meilleur rendement en tensions du courant.

3.6 Comparaison de l'électrogénéité des plantes étudiées

Les cinq plantes étudiées dans ce travail (A, B, D, F, G) ayant subi des changements de certains paramètres physico-chimiques, ont été utilisées pour étudier l'effet de ces paramètres sur la production du courant via la pile à plante, et elles avaient montré toutes des réponses électro géniques suite aux changements subis, alors que la plante témoin (C) n'a subi aucun changement.

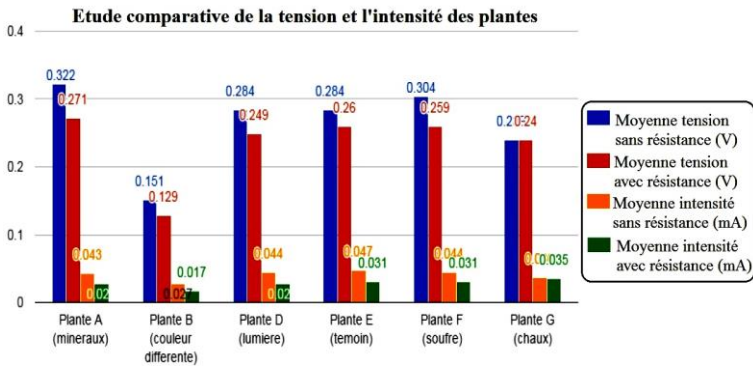


Fig. 9: Comparative de tension et de courant à différents paramètres

La plante ayant la tension la plus haute était la plante A, correspondant à la plante arrosée avec de l'eau minérale. En effet, cela est en accord avec nos hypothèses, car les minéraux sont des acteurs importants de la photosynthèse et du système électrochimique en augmentant la conductivité au sein de la pile microbienne.

Les deux plantes dont le pH du sol a été changé sont: la plante F, dans laquelle a été introduit du soufre et la plante G, dans laquelle on a été introduit de la chaux dont les résultats obtenus ont bien coïncidé avec les suppositions, et cela est visible sur l'histogramme (figure 9) où elle y avait une moyenne d'intensité de courant plus élevée par rapport aux autres plantes (0.035 mA).

Cela est probablement dû à l'augmentation de la CEC de la plante. D'autre part, la plante D ne correspondait pas à nos attentes. En effet, une plante étant exposée à plus de lumière aurait eu un meilleur rendement. Cependant, nous observons qu'elle a le quatrième meilleur rendement des six plantes. Son rendement est inférieur à celui de la plante témoin E, ce qui mène à penser que la lumière n'avait pas influencé de manière percutante le rendement du courant pour cette plante.

4. CONCLUSION

Produire de l'énergie verte à partir de sources renouvelables est un des enjeux du futur que nombreux scientifiques explorent. Une étude théorique et pratique sur la pile à combustible à plante avec l'espèce (*Bromelia vriesea*) a été menée dans le but de comprendre son comportement sous différentes conditions.

En effet des plantes ont été exposées à plus de lumière afin d'observer l'effet de la photosynthèse, d'autres ont été arrosées avec de l'eau minérale pour démontrer le rôle des sels minéraux sur le rendement de courant. L'effet de la pigmentation de la plante sur la production du courant électrique, ainsi que le changement du pH du sol (sol basique et un autre acide) ont été également explorés dans cette étude.

C'est ainsi que nous avons pu comparer nos résultats et comprendre comment peut-on optimiser le rendement d'une pile à plante en matière de courant électrique.

REFERENCES

- [1] D. Strik, R. Timmers, M. Helder, K. Steinbusch, H. Hamelers and C. Buisman, 'Microbial Solar Cells: Applying Photosynthetic and Electrochemically Active Organisms', Tends in Biotechnology, Vol. 29, N°1, pp. 41 - 49, 2011.

- [2] B. Logan and J. Logan, '*ElectricityProducing Bacterial Communities in Microbial Fuel Cells*', Trends Microbiology, Vol. 14, N°12, pp. 512 - 518, 2006.
- [3] E. Emly, '*Generating Electricity by 'Nature's*', Salt 'B' Online Magazine, Vol. 1, 2012.
- [4] D. Strick, H. Hamelers, J. Snel and C. Buisman, '*Green Electricity Production with Living Plants and Bacteria in a Fuel Cell*', International Journal of Energy Research, Vol. 32, N°9, pp. 870 - 876, 2008.
- [5] K. Smalla, G. Wieland, A. Buchner, A. Zock, J. Parzy , S. Kaiser, N. Roskot and H. Heuer, '*Bulk and Rhizosphere Soil Bacterial Communities Studied by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis: Plant Dependent Enrichment and Seasonal Shifts Revealed*', Applied and Environmental Microbiology, Vol. 67, N°10, pp. 4742 – 4751, 2001.
- [6] E. Baudoin, E. Benizri and A. Guckert, '*Impact of Artificial Root Exudates on the Bacterial Community Structure in Bulk Soil and Maize Rhizosphere*', Soil Biology Biochemistry, Vol. 35, N°9, pp. 1183 - 1192, 2003.
- [7] H. Bais , T. Weir, L. Perry, S. Gilroy and J. Vivanco, '*The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Other Organisms*', Annual Review of Plant Biology , Vol. 57, pp. 233–266, 2006.
- [8] P. Chiranjeevi, '*Rhizosphere Mediated Electro-genesis with the Function of Anode Placement for Harnessing Bioenergy through CO₂ Sequestration*', Bioresource Technology Journal, Vol. 124, pp. 264 - 370, 2012.
- [9] L. Schampelaire, L. Bossche, H. Dang, M. Hofft, N. Boon, K. Rabaey and W. Verstraette, '*Microbial Fuel Cells Generating Electricity from Rhizodeposits of Rice Plants*', Environmental Science and Technology, Vol. 42, N°8, pp. 3053 - 3058, 2008.
- [10] F. Warembourg, '*Le Dégagement de CO₂ dans la Rhizosphère des Plantes*', Société Botanique Française, Collection Rhizosphère, pp. 77 - 78, 1955.