

## Étude, conception et mise en œuvre d'un composteur connecté et autonome en énergie sans batterie de stockage

### [ Design and implementation of an innovative composting system, powered by solar energy assisted by a tracking mechanism without batteries ]

Mohamed Marouane Lahmadi<sup>1</sup>, Fatima-Ezzahra Zerrad<sup>2</sup>, Fatima Zahra Siti<sup>2</sup>, Yassine Baskoun<sup>2</sup>, Fatima Zahra Beraich<sup>2</sup>, Moha Arouch<sup>2</sup>, Mohamed Taouzari<sup>3</sup>, and Salah D. Qanadli<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Arab German academy for science and technology ADAWT Engelsberg 7, Moers 47443, Deutschland

<sup>2</sup>Laboratory of Engineering, Industrial Management and Innovation, Faculty of Sciences and Technology, Hassan 1st University, Settat 26000, Morocco

<sup>3</sup>Laboratory LISA, National School of Applied Sciences Berrechid, University Hassan 1<sup>st</sup>, Settat, Morocco

<sup>4</sup>Cardio-Thoracic and Vascular Unit, Department of Radiology, University Hospital of Lausanne, Bugnon 46, 1011 Lausanne, Switzerland

---

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** For the organic waste disposal, rotary use of composters is common and frequently employed. Additionally, the amount of energy adopted to move organic waste is a key factor that should be highly considered when designing and manufacturing a composter machine and picking up the motor engine. Moreover, the power of promoting organic substance can be represented by compost size, operating parameters (sunshine, humidity...) and based on a simplified organic waste mass model generated by regression approximation mechanical equations with satisfactory results and precision. Finally, the reliable efficiency of this model is measured by particular data on an industrial rotary composter system.

**KEYWORDS:** Smart composting, ecology, aerobic.

**RESUME:** L'utilisation des composteurs est devenu courante et souvent exploité pour le recyclage des déchets organiques afin de produire les engrais bio. Cet article détaille l'étude et la fabrication de ce composteur écologique. Étant donné que l'énergie est considérée comme un facteur clé pour le compostage des déchets organiques, nous démontrons comment cette dernière a été soigneusement prise en compte lors de la conception et de la fabrication de ce système motorisé, l'innovation dans cette étude réside par l'élimination des batteries de stockage et le variateur de vitesse qui contient des composants polluants de l'environnement. Par ailleurs, ce composteur embarque un suiveur solaire à deux axes, le contrôle est assuré par une carte d'acquisition des données envoyé par les détecteurs de lumière et actionne les moteurs électriques pour orienter le suiveur solaire dans la positions optimal pour capter la lumière. Pour le contrôle de la qualité de fertilisant le composteur embarque des capteurs de température, humidité et PH, qui communique avec la carte d'acquisition, cette dernière assure la transmission de ces données à l'utilisateur.

**MOTS-CLEFS:** Compostage intelligent, écologie, aérobie, IOT.

## 1 INTRODUCTION

Ces dernières années, nous avons pu observer un incontestable changement climatique. En majeure partie, cela est dû à la pollution qui résulte des émissions de gaz toxiques ainsi que des déchets. Plusieurs pays du monde se battent pour être moins pollués à travers plusieurs plans stratégiques, étant donné la progression remarquable au niveau de la production des déchets notamment les déchets ménagers [1].

Le Maroc figure parmi les pays qui se penchent vers la question [2] Le royaume produit plus de 5,3 millions de tonnes par an de déchets ménagers [3]. Presque tous sont enfouis dans des décharges ou incinérés [4].

Néanmoins, la forte croissance de la population induit systématiquement l'augmentation des déchets ménagers, ce qui rend plus difficile la collecte [5]. Cela a de graves conséquences sur l'avenir de la santé publique et de l'environnement de notre pays, ainsi que sur les activités sociales et économiques [5].

La Consommation d'espace, production de lixiviat, pollution des eaux souterraines, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre sont des problèmes majeurs qui poussent l'État à déboursier des frais supplémentaires chaque année, à hauteur de 2884,5 MDH [6], [7]. Par conséquent, le compostage reste l'une des méthodes anciennes qui est fiable et à moindre coût pour réduire les déchets biologiques à la source, avant la collecte des déchets ménagers [8]. Cela donne aux usagers la possibilité d'améliorer leur bien-être économique en jardinant, en commercialisant leur propre compost bio et produits recyclables [9].

Le compostage est un procédé biologique aérobie qui transforme la matière organique en un produit homogène qui s'appelle le compostage via des micro-organismes, bactéries et champignons vivant dans des conditions spécifiques de température, d'oxygène et d'humidité en gardant une température optimale entre 55 C° et 65° ainsi que l'humidité entre 40% et 65%, rapport carbone/azote et taille des particules [10], [11], [12]. Il existe plusieurs technologies de compostage connues à l'échelle internationale, notamment celle du compostage ouvert, fermé ou à base de réacteur. Ces derniers donnent des fertilisants de type lombricompost qui se caractérisent par l'élimination des odeurs, accélèrent le processus de traitement tout en offrant un environnement favorable à la croissance biodégradable de la matière organique [13], [14]. Cependant ces méthodes restent limitées, étant donné que l'entrée de substances nocives dans l'environnement impacte systématiquement le paramètre d'incubation [15]. Pour assurer une bonne qualité de compost, il est indispensable de contrôler les paramètres d'humidité, de température et de PH notamment quand on utilise un composteur rotatif [16], [17]. Celui-ci exploite la technique de compostage décentralisée pour agiter, aérer et mélanger les substances. Ce système se caractérise par la courte durée de compostage qui est comprise entre 2 à 3 semaines [18], [19].

Dans le même contexte, il existe plusieurs composteurs rotatifs qui ont été développés par Bildiri dans [20]. Ceux-ci se caractérisent par une rotation manuelle, à une fréquence de 5 fois par jour et une réduction des odeurs [20]. Un autre composteur a été proposé, qui est équipé d'un système électromécanique, ce qui facilite le bon fonctionnement du composteur. En outre, un système autonome avec un contrôle à distance du processus muni de capteurs et d'actionneurs installés ainsi qu'une interface donnant une visibilité sur les indicateurs a été étudié et présenté dans [18]. Dans le même travail, les auteurs ont conçu et étudié un système de compostage rotatif autonome, équipé d'un système de gestion à distance avec un moteur électrique DC de 12V et un variateur de vitesse permettant de maîtriser la vitesse. Tous ces éléments sont alimentés par une batterie rechargeable via des panneaux solaires fixes. Ce système permet le suivi des paramètres de compostage à distance, à l'aide d'un smartphone.

Durant notre étude sur la conception composteur, nous avons identifié les risques suivants:

- Le dimensionnement des panneaux solaires ne permet pas d'assurer une charge optimale des batteries durant la journée, ce qui dégrade rapidement leur durée de vie.
- L'usure des batteries nécessite leur remplacement, ce qui engendre des coûts supplémentaires et des déchets néfastes pour l'environnement [19].
- Le couple au démarrage est insuffisant pour la rotation du composteur notamment pour des charges maximales en cas d'un faible courant.

Notre objectif est la conception, la fabrication, et l'amélioration de la performance du composteur, l'élimination des batteries et du variateur de vitesse, ce qui aura comme avantages de minimiser le coût, de protéger l'environnement et d'assurer un couple suffisant.

Le travail décrit dans cet article est basé sur les recherches menées dans [17], [18] et [19] et vise à concevoir et mettre en œuvre un système innovant de production de composte, sans avoir besoin d'utiliser de batteries qui demandent un remplacement à chaque usure, et qui restent un élément plus polluant que les déchets organiques. La machine gardera les déchets alimentaires et les laissera se décomposer convenablement, suite à la rotation fréquente du composteur dans la journée et l'arrêt pendant la nuit.

## 2 MÉTHODES ET MATÉRIAUX

### 2.1 DESCRIPTION DU COMPOSTEUR

Notre composteur se caractérise par un tambour de forme cylindrique d'une capacité de 0,181 m<sup>3</sup> d'une longueur de 640 mm et d'un diamètre de 600 mm qui permet de transformer les déchets organiques en un compost (engrais bio) par un processus de compostage aérobie en trois semaines. Les matériaux utilisés pour la conception de ce composteur sont en plastique renforcé supporté par un support en acier de longueur 680 mm. Il dispose de deux portes repérées sur le côté longitudinal du tambour (longueur 225 mm et largeur 195 mm) pour un rôle de remplissage et d'évacuation. L'admission de l'air se fait à travers de petits

trous centrés en cercles sur la surface de chaque côté du composteur, ces trous ont pour objet d'aérer et réduire les mauvaises odeurs (fig 1).

Le tambour est monté sur un arbre en acier et ça rotation est réalisé avec un anneau denté fixé sur la paroi droite du composteur. L'anneau denté a également un rôle de transformateur de vitesse et de puissance entre le moteur et le composteur, la vitesse de rotation du tambour est de (4 tr / min) avec un couple de 2 Nm donner par un moteur électrique de 6 V en courant continu, ce dernier est branché avec un réducteur à engrenages parallèles et alimenter par des panneaux solaires fixé sur un suiveur solaire ainsi qu'un système de transmission de rotation interne qui permet d'augmenter le couple en cas de charge maximale.

Pour une bonne qualité des engrais bio ce système permet le control de certain paramètre du produit à savoir l'humidité, la température, le PH et le gaz NH3. Les données sont transmises vers une carte d'acquisition et de traitement qui offre également un suivi à distance de ces paramètres de compostage.

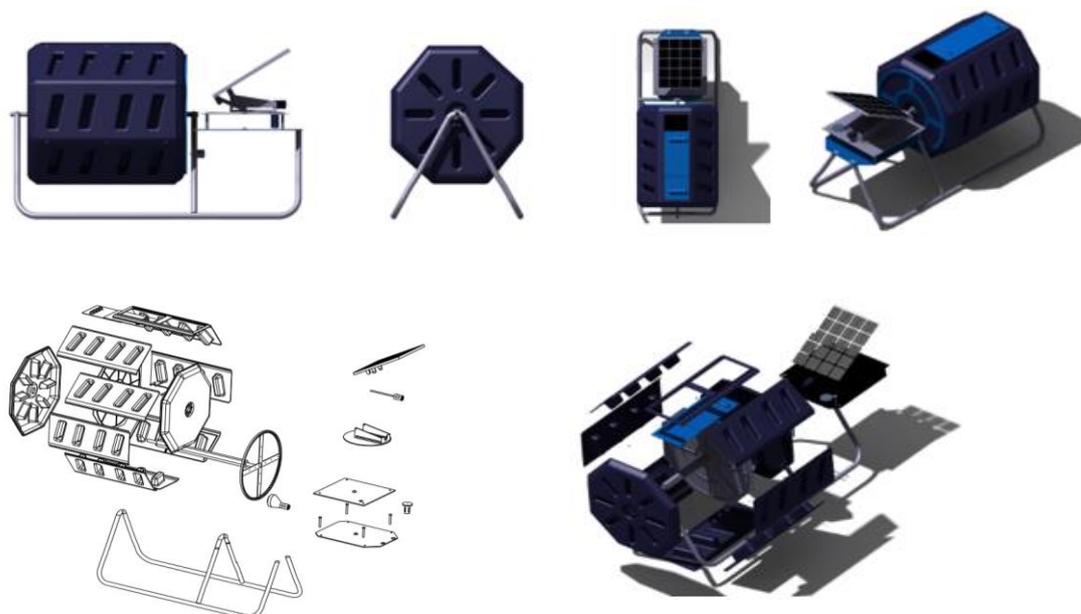


Fig. 1. Schéma assemblage de la machine à composter à tambour rotatif

## 2.2 DESCRIPTION DE SYSTÈME DE COMMANDE

La figure 2 montre le schéma simplifié qui permet de recevoir les données par les capteurs et les commandes donnés aux actionneurs, et également le fonctionnement de suiveurs qui embarque des capteurs de lumières pour l'orienter là où il y a le maximum de radiation solaire, afin de récupérer le maximum d'énergie pour entraîner le moteur électrique.

L'utilisateur peut commander et contrôler le composteur via un interface en ligne, cela peut apparaître sous forme de tableau ou de graphique. Ensuite, si les paramètres identifiés par l'application ne sont pas adéquats, l'utilisateur de l'application pourra envoyer des instructions au composteur via deux modes (manuel ou automatique), ceci afin d'obtenir une bonne performance du composteur. Par exemple, si le taux d'humidité dépasse 60 %, le composteur tourne automatiquement et commence l'aération (en cas d'activation du mode automatique par l'utilisateur).

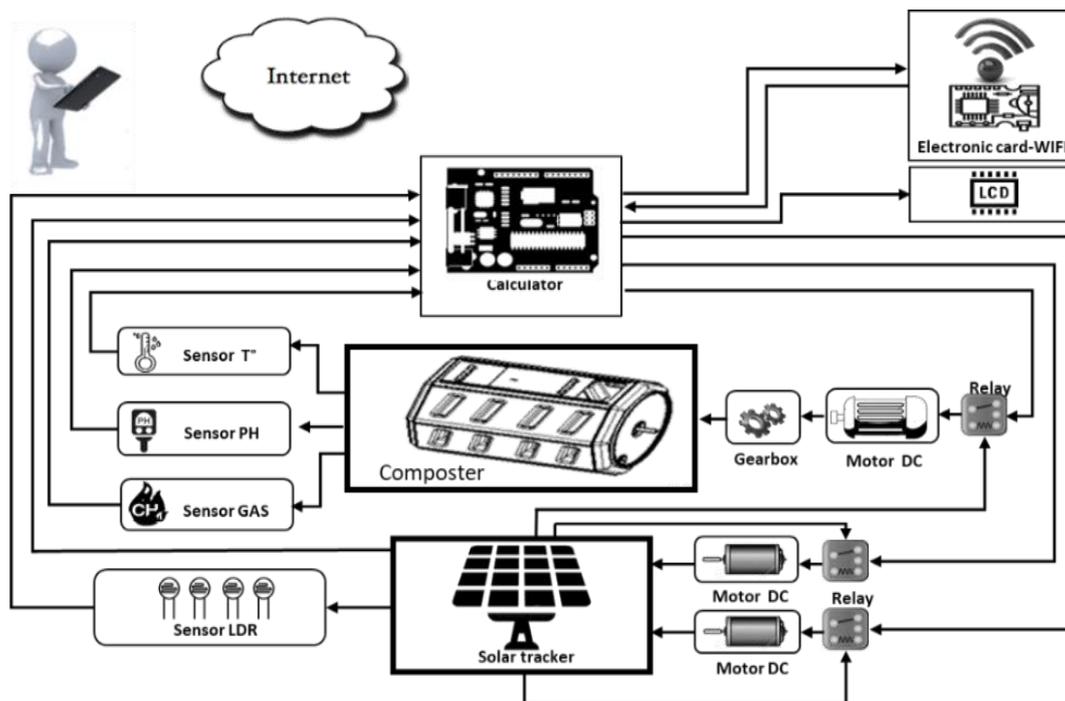


Fig. 2. Schéma fonctionnel de la machine à composter à tambour rotatif

La forme géométrique du composteur rotatif prendra la forme d'un cylindre octogonal fermé avec les dimensions suivantes: (longueur L, diamètre D, épaisseur e). Il a une masse de M, qui tourne avec une vitesse de 4 tr/min, et qui est fabriqué en PVC (chlorure de polyvinyle).

Tableau 1. Instructions de commande automatique sur le contrôleur

Paramètre de compostage	Causes du problème	Configuration du contrôle automatique
NH3>20ppm	Mélange trop riche en azote, Température trop élevée (Plus de 70°)	Activer la rotation Activer l'aération Arrêter la résistance chauffante
Humidity <40%	Manque d'eau	Commande manuelle active (injecter l'eau)
Humidity>60%	Manque d'azote	Activer la rotation Activer la rotation
Temperature<20°	Manque d'azote	Résistance chauffante active Activer la rotation Activer l'aération
Temperature>65°	Activer la résistance chauffante	Activer la rotation Activer l'aération Arrêter la résistance chauffante

### 2.3 DIMENSIONS DU COMPOSTEUR

La forme géométrique du composteur rotatif prendra la forme d'un cylindre octogonal fermé avec les dimensions suivantes: longueur L, diamètre D, épaisseur e, sa masse M est qui tourne avec une vitesse de 4 tr/min, l'ensemble est fabriqué en PVC (chlorure de polyvinyle).

#### 2.3.1 DIMENSIONNEMENT DES SYSTÈMES MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES

Pour obtenir une vitesse de 4 tr/min il faut que la vitesse de rotation générée par le réducteur soit identique à la vitesse de rotation du composteur.

$$P_c = P_m \tag{1}$$

### 2.3.2 DENSITÉ EN VRAC DÉTERMINÉE (LA SUBSTANCE N'EST PAS HOMOGÈNE)

La formule suivante permet de déterminer la masse maximale supportée par le composteur:

$$\rho = m/v \quad (2)$$

Où:

**m:** Masse de la substance

**v:** Volume qu'il occupe dans le composteur

**$\rho$ :** Densité

### 2.3.3 LE VOLUME MAXIMAL DU COMPOSTEUR

$$V = 2 \times C^2 \times (1 + \sqrt{2}) \times H \quad (3)$$

Où:

**C:** Côté du cylindre octogonal ordinaire

**H:** Hauteur du composteur

Avec:

$$P = m \times g; P = \rho \times v \times g \text{ and } Cr = P \times R \quad (4)$$

Où:

**P:** Le poids

**Cr:** le couple de résistance

**R:** Le rayon primal

$$C_{real} = P \times Cr \quad (5)$$

Toutefois, la vitesse de rotation nécessaire pour faire tourner le compte-gouttes est de 4 tr/min NT.

$$P_c = C_{real} \times (\pi \times N) / P \quad (W) \quad (6)$$

Où:

**PC:** Le pouvoir de la chute

**Creal=** Le couple réel

Rapport d'engrenage:

$$Rt = \frac{N_s}{N_e} = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{Z_p}{Z_c} \quad (7)$$

Tels que:

**Rt:** Taux de réduction

**Ns:** Fréquence de rotation de sortie

**Ne:** Fréquence de rotation en entrée

**$\omega_s$ :** Vitesse angulaire de sortie en Rad/s

**$\omega_e$ :** Vitesse angulaire d'entrée en Rad/s

**Z p:** Nombre de dents de pignon

**Z c:** Nombre de dents de coran

**Efficacité globale:**

$$\eta = \eta_r \times \eta_{p-c} \quad (8)$$

$$\eta = P_s / P_e \quad (9)$$

## 2.4 LE CHOIX DU PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE

Cette partie détail les besoins d'énergie électrique du composteur:

### 2.4.1 LA CONSOMMATION MOYENNE D'ÉNERGIE

Le composteur démarre deux fois par jour et chaque cycle dure 10 minutes.

Donc l'énergie consommée par jour (Wh/j) est:

$$E_c = P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + P_3 \times t_3 + \dots + P_n \times t_n \quad (10)$$

$$E_c = (30 \text{ (system power)} \times 2) = 60 \quad (11)$$

### 2.4.2 LE NOMBRE DE PANNEAUX SOLAIRES

#### DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE DE CRÊTE

$$P_p = \frac{E_c}{K \times I_{r,moy}} \quad (12)$$

Où:

**P<sub>p</sub>**: puissance de crête du champ photovoltaïque (Wp)

**E<sub>c</sub>**: consommation d'énergie par jour (Wh/j)

**K**: Coefficient de correction ou efficacité du système

Photovoltaïque [K ∈ [0,55; 0,75] nous prenons comme valeur de K=0,65]

**I<sub>r, moy</sub>**: l'irradiation journalière moyenne ou les heures de pointe hp (kWh/m<sup>2</sup>.d).

Cependant, pour la région de Casablanca-Settat, l'inclinaison optimale des panneaux est de 33° [21].

Nous prenons:

$$I_{r, moy} = 4,5 \text{ kW}\ddot{\text{E}}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

$$P_p = 20 \text{ Wp}$$

Le nombre de panels requis est tel que:

$$N = \frac{P_p \text{ (system)}}{P_p \text{ (panel)}} = 1$$

## 2.5 LE CHOIX DE RÉGULATEUR DE TENSION

Afin d'obtenir les meilleures performances des panneaux photovoltaïques avec une efficacité optimale (entrée P = sortie P), il est essentiel de respecter les conditions suivantes:

Sachant que:

$$U_{Regulator} = U_{Generator} \quad (13)$$

$$P_{Regulator} = P_{Generator} \quad (14)$$

$$I_{Regulator} > (P_{peak}) / (U_{Generator}) \quad (15)$$

*U<sub>Regulator</sub>*: La tension du régulateur

*U<sub>Generator</sub>*: La tension du générateur photovoltaïque

*I<sub>Regulator</sub>*: L'intensité du régulateur

*P<sub>Regulator</sub>*: La puissance du régulateur

$P_{peak}$ : La puissance de crête du panneau photovoltaïque

## 2.6 RAYONNEMENT SOLAIRE PAR HEURE

Afin de maintenir une bonne efficacité énergétique tout au long de la journée, nous avons donc décidé d'utiliser un tracker solaire qui permettra d'assurer un bon fonctionnement du système, ce dernier doit remplir les conditions suivantes:

### 2.6.1 PARAMÈTRES DE POSITION DU SOLEIL

La position du soleil par rapport à un emplacement est déterminée par l'angle du zénith ( $\gamma_s$ ) et l'azimuth ( $\alpha_s$ ) (fig 3).

Zenith est l'angle que la direction de la projection du Soleil sur le plan horizontal fait avec la direction Sud, l'angle positif est la direction Ouest. Azimuth est l'inclinaison de la position du soleil avec à l'égard du sud. Il est à noter que ( $\beta$ ) est l'écart par rapport à l'horizontale.

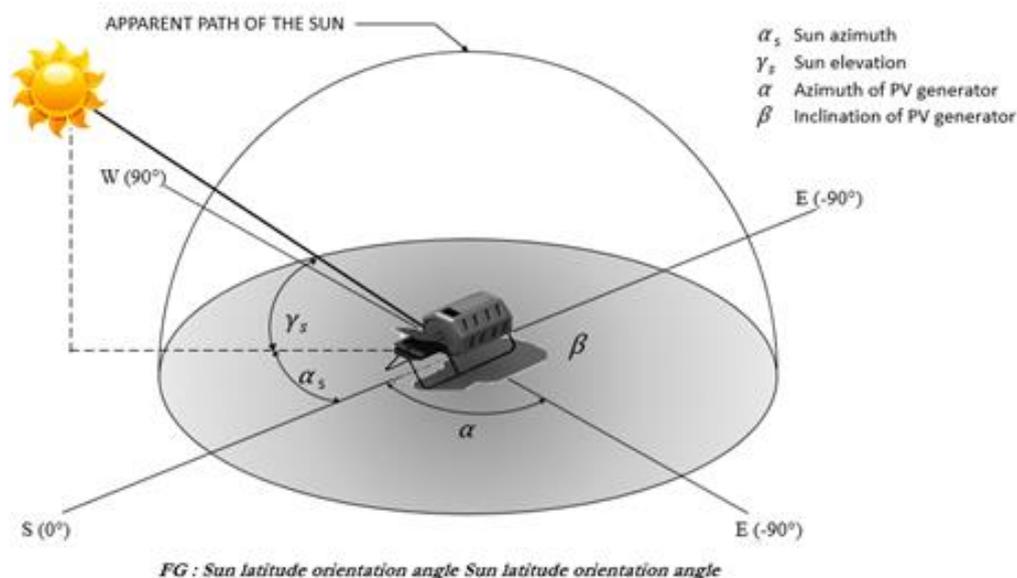


Fig. 3. Azimuth VS Direction de la direction du soleil

Les angles varient en fonction des heures du jour ( $t$ ), des jours de l'année ( $d$ ) ainsi que du positionnement du point d'observation aptitude  $\lambda$ .  $h$ ) est l'angle que la direction du Soleil fait avec sa projection sur un plan horizontal.

$$h = (360) / 24 (t - 12)$$

La déclinaison du soleil déterminée selon l'équation:

$$\delta = 23.44 * \sin \left[ 360 * \left( \frac{d - 80}{365.25} \right) \right] \quad (16)$$

Les deux angles de zénith et d'azimuth sont calculés par la formule suivante:

$$\cos \gamma_s = \sin \delta * \sin \lambda + \cos \delta * \cos \lambda * \cos h$$

$$\tan \alpha_s = \frac{\sin h}{\sin \lambda \cos h - \cos \lambda \tan \delta}$$

La direction et la force des rayons du soleil changent constamment en raison de la rotation de la Terre et de la composition de l'atmosphère.

Les cellules des modules photovoltaïques fixes ne peuvent convertir qu'une petite partie de l'énergie lumineuse émise par le soleil en énergie électrique.

Les capteurs solaires sont des dispositifs qui permettent aux modules photovoltaïques de rester alignés avec le soleil. En conséquence, l'angle d'incidence est maintenu, et l'intensité lumineuse, et donc l'intensité énergétique, est maintenue.

Cela permet non seulement une utilisation optimale de la lumière du jour, mais aussi de la lumière diffuse, ce qui se traduit par un surplus d'énergie solaire de 25 % à 50 % et une efficacité économique améliorée [21].

Les résultats obtenus figurant sur la fig 4 montrent clairement la différence entre l'utilisation d'un panneau solaire fixe et avec des systèmes de suivi en termes de gain de production d'électricité, de précision de positionnement par rapport à la direction du soleil.

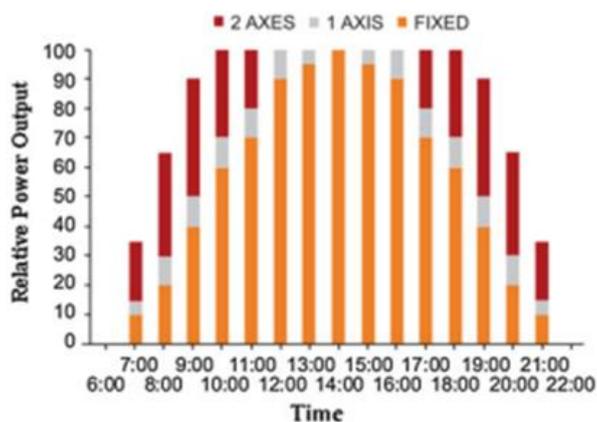


Fig. 4. Comparaison entre différents systèmes de suivi et un système fixe

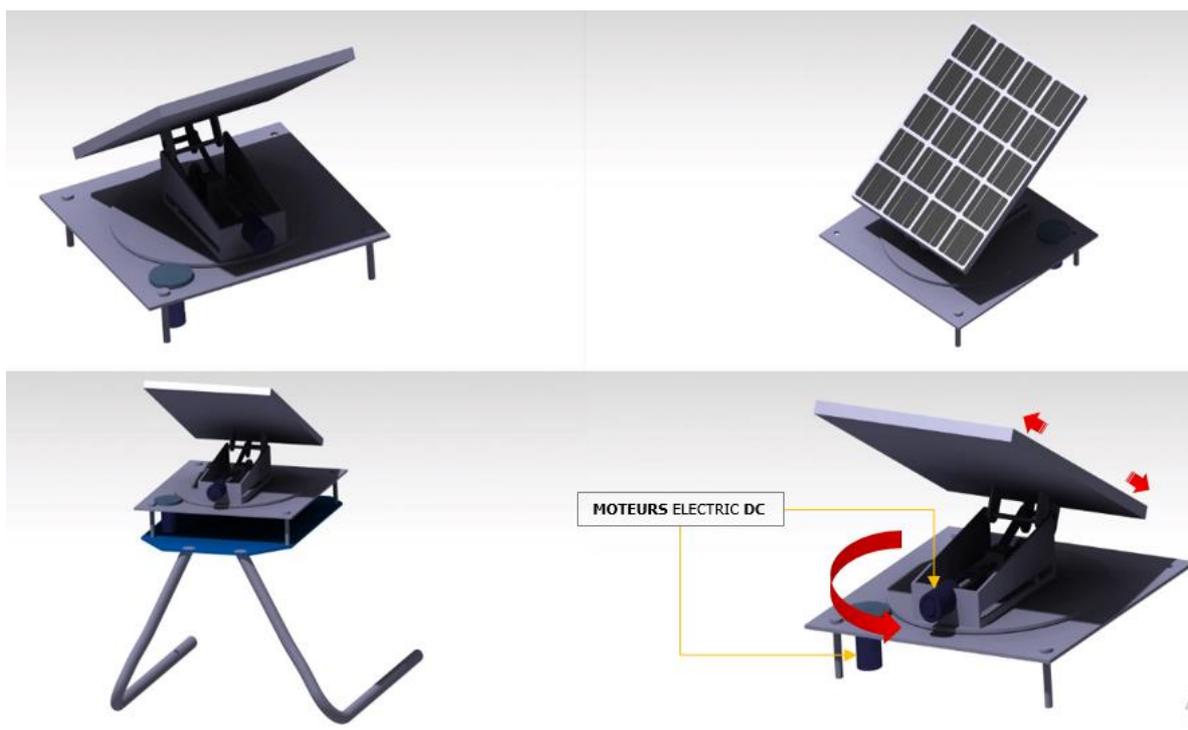
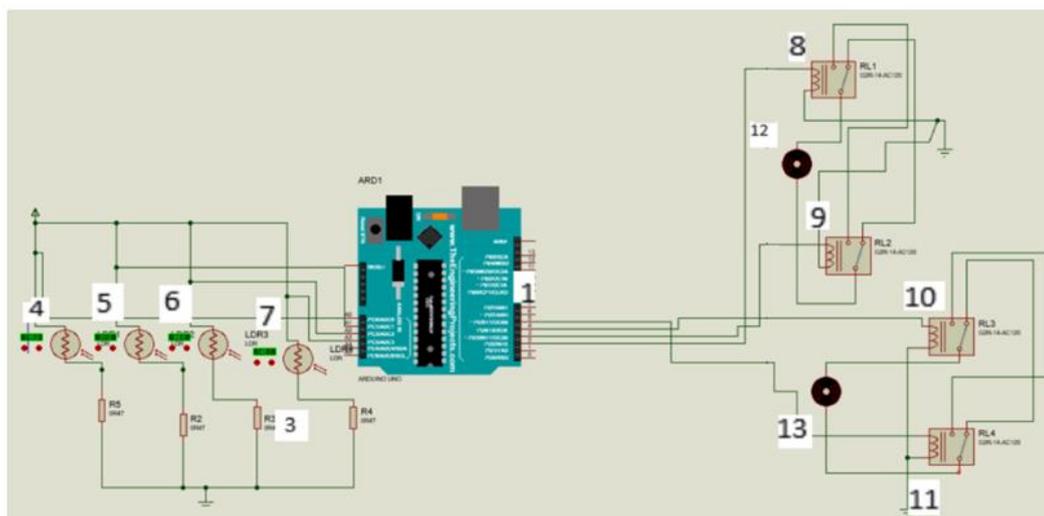


Fig. 5. Conception de Suiveur avec deux axes

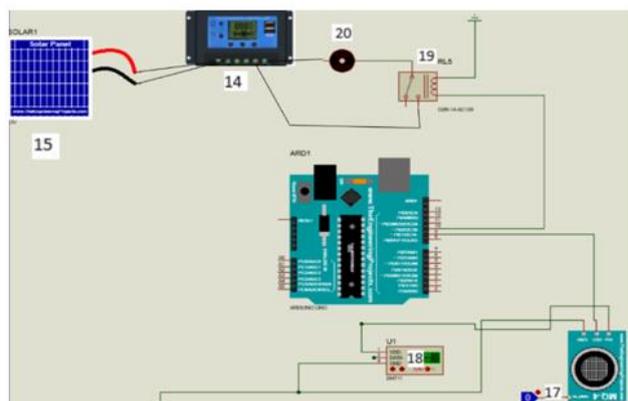
### 3 RESULTSTA ET DISCUSION

L'équipe de laboratoire d'ingénierie, de gestion industrielle et d'innovation "LIMII" a travaillé sur la conception et l'enquête mécanique. Le projet est réalisé en collaboration avec Biodome, et il est basé sur la gestion à distance des paramètres de compostage, toutes les informations du composteur étant envoyées à un smartphone et à un ordinateur via la 4G ou le Wi-Fi (Fig5). Le matériel utilisé pour la réalisation de la partie commande est: 1: Arduino UNO, 2: Plaque d'essai, 3: Résistance 1k, 4: LDR topright, 5: LDR topleft, 6: LDR downright, 7: LDR downleft, 8: Relais 1, 9: Relais 2, 10: Relais 3, 11: Relais 4, 12: Moteur vertical, 13: Moteur horizontal,

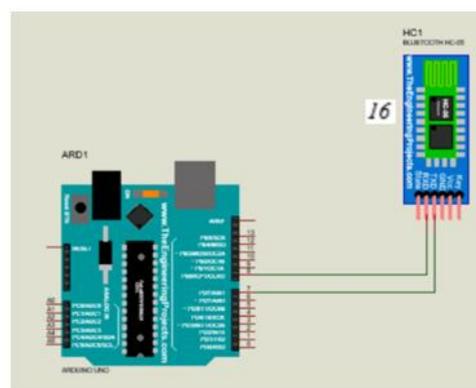
14: Régulateur solaire, 15: Panneau solaire, 16: Module bluetooth HC-05, 17: Capteur de gaz MQ4, 18: Capteur de température et d'humidité DHT11, 19: Relais de composteur, 20: Moteur de composteur.



A



B



C

Fig. 6. Schéma du (A) suiveur solaire, (B) moteur et les capteurs du composteur, et (C) module Bluetooth

La machine illustrée dans la fig 6-a été conçue et construite par notre équipe. En outre, les paramètres du système de suivi, ainsi que le moteur électrique à courant continu, le réducteur, les déchets organiques, le régulateur et le système de panneaux photovoltaïques, ont tous été utilisés dans le système. Le tableau II présente tous les composants du composteur écologique proposé.

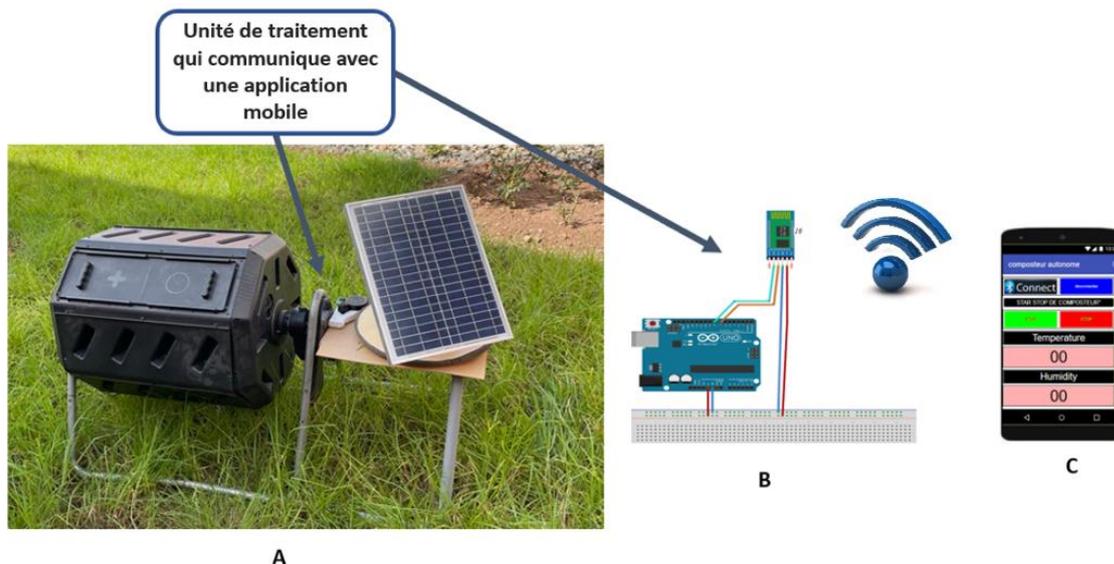


Fig. 7. Le composteur rotatif industriel proposé, (B) les schémas du module Bluetooth et (C) l'application mobile proposée

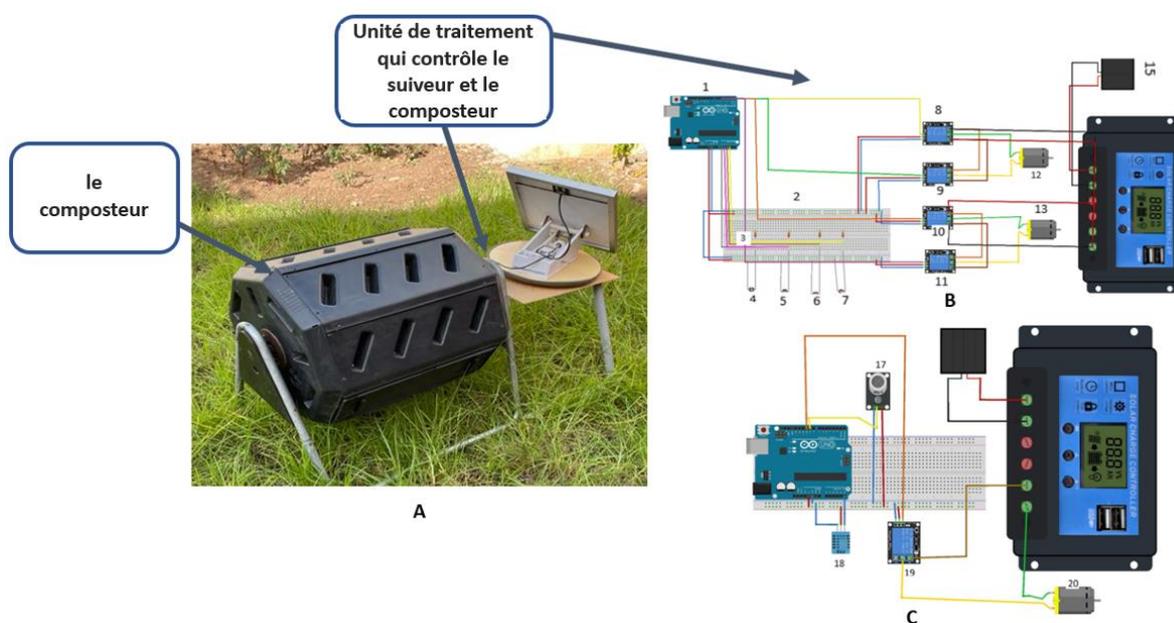


Fig. 8. Le composteur rotatif industriel proposé, (B) le schéma de commande du suiveur solaire et (C) le schéma de la commande du moteur du composteur et des capteurs

Tableau 2. Caractéristiques des composants du composteur

Composants	Features
Moteur pour Composteur	Fréquence de rotation : $N_m = 1500 \text{ tr/min}$
	Couple du moteur électrique à courant continu : $C_m = 2,74 \text{ N.M}$
	Intensité: $I = 3 \text{ A}$
	Tension: $U = 6 \text{ V}$
Deux moteurs pour le système de suivi	Intensité: $I = 1 \text{ A}$
	Tension: $U = 3 \text{ V}$
Réducteur	Couple de réducteur de vitesse interne: $C_r = 89,7 \text{ N.M}$
	Fréquence de rotation: $N_r = 4 \text{ tr/min}$
	Efficacité: $\eta_r = 85\%$
Déchets organiques	La quantité de déchets organiques pouvant entrer dans le composteur est 30 Kg

<b>Panneau photovoltaïque</b>	Panneau photovoltaïque polycristallin: Nbr = 1
	Puissance maximum: Ppeak = 20 watt
	Voltage at maximum power point: Vmp = 19,1 V
	Courant à la puissance maximale: Imp = 4,67 A
	Tension en circuit ouvert: Voc = 23,3 V
	Courant de court-circuit: Isc = 5,15 A
<b>Régulateur</b>	La tension du régulateur: U regulator = 12 V
	La puissance du régulateur: Prégulateur > Ppeak = 20 Watt
	L'ampérage du régulateur: Iregulator > $\frac{P_{peak}}{U_{regulator}} = 5,15$ Amp

#### 4 CONCLUSION

Le présent article décrit en détail l'étude, dimensionnement et la mise en œuvre d'une machine de compostage écologique et intelligente, ce système pourra révolutionner le domaine de fabrication des composteurs d'une part avec sa connectivité entre la machine et l'utilisateur et d'autre part avec l'élimination des batteries qui présentent des déchets nocifs sur l'environnement. L'étude réalisée donne en détails les calculs utilisés pour la conception de la machine par la suite les résultats de simulations ont été validées par la réalisation d'un prototype, les expérimentations au terme de production de compostage des déchets organiques ont prouvé l'obtention d'une bonne qualité des engrais bio.

#### REFERENCES

- [1] Liu, Z and All «The progress of composting technologies from static heap to intelligent reactor: Benefits and limitations. Journal of Cleaner Production», 270, 122328, (2020).
- [2] Hemidat, S., and all, « Monitoring of composting process parameters: A case study in Jordan. Waste and Biomass Valorization», 9 (12), 2257-2274. (2018).
- [3] Guria, N., & Datta, S. Domestic waste management: home composting bins and utilizing food processing waste.
- [4] Zhao, R.F.; Gao, W.; Guo, H.Q. Comprehensive review of models and methods used for heat recovery from composting process. Int. J. Agric. Biol. Eng. 2017, 10, 1–12.
- [5] Jr, M. N. L., & Boado, M. M. M. Performance Evaluation of a Non-Odorless Compost Barrel for Household Purposes.
- [6] Record. Pollution nitrique des eaux souterraines au Tadla... – Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science – Érudit (erudit.org).
- [7] Alkarimiah, R. and all« F. Composting of EFB and POME Using aStep-Feeding Strategy in a Rotary Drum Reactor: The Effect of Active Aeration and Mixing Ratio on Composting», Performance. Polish Journal of Environmental Studies, 29 (4). (2020).
- [8] Joseph K (2006) Stakeholder participation for sustainable waste management. Habitat Int 30 (4): 863–871. doi: 10.1016/j.habitatint. 2005.09.009
- [9] Fahad N. Alkoaik and all, « Effect of Insulation on the Performance of a Rotary Bioreactor for Composting Agricultural Residues», Energies 2019, 12, 315.
- [10] Gopikumar, and all«, Aerobic biodegradation of food wastes. In Food Waste to Valuable Resources (pp. 235-250). Academic Press. (2020).
- [11] EPSTEIN E. Basic concepts. The Science of Composting, Technomic Publishing Company, Inc, United State of America, 19, 1997.
- [12] Alkarimiah, R., & Suja. F., Composting of EFB and POME Using a Step-Feeding Strategy in a Rotary Drum Reactor: The Effect of Active Aeration and Mixing Ratio on Composting Performance. Polish Journal of Environmental Studies, 29 (4) (2020).
- [13] Makan, A., & Fadili, A., Sustainability assessment of large-scale composting technologies using PROMETHEE method, Journal of Cleaner Production, 261 (2020) 121244.
- [14] Gopikumar, S., Tharanyalakshmi, R., Kannah, R. Y., Selvam, A., & Banu, J. R. Aerobic biodegradation of food wastes, In Food Waste to Valuable Resources, (2020) 235-250.
- [15] Heribert G.B. and all, « Recycling of organic Wastes to Soil and its Effet on Soil Organic Carbon Status, » The Feature Of Soil Carbon, pp. 195-214, April 2018.
- [16] F. Storino and all, «Meat waste as feedstock for home composting: effects on the process and quality of compost, » Waste Manage, vol. 56, pp. 53-62, october 2016.
- [17] N. Alkoaik, « Integrating aeration and rotation processes to accelerate composting of agricultural residues, »PLOS ONE 14 (7): e0220343, july 2019.
- [18] Elalami, M., Baskoun, Y., Beraich, F. Z., Arouch, M., Taouzari, M., & Qanadli, S. D. Design and Test of the Smart ComposterControlled by Sensors. In 2019 7th International Renewable andSustainable Energy Conference (IRSEC) (pp. 1-6). IEEE. (2019).

- [19] Elalami, M., Lahmadi, M. and all, «Innovative Design and Realization of a Smart Rotary Composter with a Remote Management System», *International Journal*, 8 (7). (2020).
- [20] Prasad, N. L and all, « Life Cycle Assessment of a 100 kWp Solar PV-Based Electric Power Generation System in India. In *Recent Trends in Mechanical Engineering*», Springer, Singapore. (2020). (pp. 81-94).
- [21] Petric, I. Mathematical modeling and simulation of the composting process in a pilot reactor. *Bull. Chem. Technol. Bosn. Herzeg. University of Tuzla* 2017, 47, 39–48.