

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 47547 B1** (51) Cl. internationale : **F24J 2/00; F24S 30/42**
- (43) Date de publication : **29.10.2021**

- 
- (21) N° Dépôt : **47547**
- (22) Date de Dépôt : **26.11.2019**
- (71) Demandeur(s) : **Université Mohammed V de Rabat, Avenue des Nations Unies, Agdal, bp 8007 NU, Rabat, 10000 (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **Bouzakri Hicham ; Abbou Ahmed**
- (74) Mandataire : **Kartit Zaid**

- 
- (54) Titre : **Suiveur Solaire Mono-axiale avec une Monture Équatorial, pour un Modèle amélioré d'un Panneau Photovoltaïque**
- (57) Abrégé : « Suiveur Solaire Mono-axial avec une Monture Équatoriale pour un Modèle amélioré d'un Panneau Photovoltaïque » est un système proposé afin de garder le rendement d'un panneau photovoltaïque au maximum pendant toute l'année, avec un suivi mono-axial basé sur un mécanisme dit monture équatoriale. La monture équatoriale est un système utilisé par les télescopes, qui permet un suivi parfait avec un seul axe. L'invention consiste à réaliser une monture équatoriale adaptée à notre panneau photovoltaïque, qui sera orienté vers l'équateur afin d'avoir le maximum de rendement pendant les équinoxes. Le système propose un modèle au panneau photovoltaïque basé sur la réflexion avec deux miroirs en haut et en bas, afin de compenser l'abaissement de rendement pendant les périodes des solstices. La position du soleil est donnée par un capteur à LDR, et le système est commandé par une carte basée sur un microcontrôleur de type PIC. Le suivi utilise un moteur pas à pas avec un réducteur à vise sans fin, afin de minimiser la consommation.

**Abrégé :**

« **Suiveur Solaire Mono-axial avec une Monture Équatoriale pour un Modèle amélioré d'un Panneau Photovoltaïque** » est un système proposé afin de garder le rendement d'un panneau photovoltaïque au maximum pendant toute l'année, avec un suivi mono-axial basé sur un mécanisme dit monture équatoriale.

La monture équatoriale est un système utilisé par les télescopes, qui permet un suivi parfait avec un seul axe.

L'invention consiste à réaliser une monture équatoriale adaptée à notre panneau photovoltaïque, qui sera orienté vers l'équateur afin d'avoir le maximum de rendement pendant les équinoxes.

Le système propose un modèle au panneau photovoltaïque basé sur la réflexion avec deux miroirs en haut et en bas, afin de compenser l'abaissement de rendement pendant les périodes des solstices.

La position du soleil est donnée par un capteur à LDR, et le système est commandé par une carte basée sur un microcontrôleur de type PIC. Le suivi utilise un moteur pas à pas avec un réducteur à vis sans fin, afin de minimiser la consommation.

### **Domaine de l'invention :**

La présente invention se situe dans le domaine des énergies renouvelables, plus particulièrement à l'énergie Photovoltaïque (PV).

L'invention propose un suiveur solaire mono-axial, plus un modèle au panneau photovoltaïque, afin de maintenir le rendement de celui-ci au maximum pendant toute l'année (similaire à un PV normale au rayonnement solaire), avec une consommation électrique minimisée.

### **Art Antérieur :**

De nombreuses études théoriques et pratiques, ont amélioré le rendement d'un PV en utilisant un suiveur solaire à deux axes, ou à un seul axe.

De la publication internationale du brevet numéro WO 2016/154418 A1, l'inventeur à proposer un système de suivi mono-axial horizontale, plus un mécanisme qui permet au système de suivre la trajectoire du soleil pendant le jour avec un seul moteur horizontal, changeant ainsi l'inclinaison du panneau via une came d'une balle permettant de piloter le déplacement du panneau PV.

De la publication internationale du brevet numéro WO 2012/046134 A1, l'inventeur à proposer aussi un système assurant la même fonctionnalité que le précédent, en utilisant un mécanisme différent, permettant de changer l'inclinaison de panneau pendant le suivi.

Les problèmes techniques qui se posent lors de l'utilisation d'un tel dispositif, est le cout élevé de la production vu que le système nécessite un mécanisme supplémentaire pour changer l'inclinaison du panneau solaire pendant le suivi. Aussi le système proposé n'est pas capable de suivre le changement d'inclinaison solaire pendant l'année (solstice d'été, d'hiver et les équinoxes) et donc moins de précision.

De la publication " Dual-axis Solar Tracker Design Based on a Digital Hemispherical Imager" faite par Z. El Jaouhari, Y. Zaz, S. Moughyt, O. El Kadmiri and Z. El Kadmiri, au Maroc, avec un suiveur solaire à deux axes, montre une augmentation d'environ 32% de la puissance de sortie, par rapport au système photovoltaïque fixe.

Les problèmes techniques qui se posent lors de l'utilisation d'un tel dispositif, est l'obligation d'avoir deux moteurs afin de suivre parfaitement le soleil, donc plus de consommation d'énergie, et ce qui explique le cout élevé de production (deux moteurs, deux coupleurs, deux systèmes de commande et un capteur à double axes).

Dans le même sens, Une autre étude a été réalisée en Inde, par Somnath M. et Subrata D. Sous-titre " Development of a Low-Cost Optimum Power Tracking Prototype for Solar Energy," avec l'utilisation d'un suiveur solaire mono-axial horizontal. Cette étude a permis d'avoir un gain de 15 à 22% supérieure à celui d'un système fixe, ce dispositif présente un principal inconvénient :

-Le rendement bas du panneau photovoltaïque PV par rapport à celui de deux axes.

Le but de l'invention est de montrer l'efficacité d'un système basé sur un seul axe, avec certains paramètres proposés, afin de minimiser le coup de production, diminuer la consommation d'énergie, et d'augmenter la précision, en gardant le rendement de notre panneau photovoltaïque au maximum pendant toute l'année.

### **Brève Description de l'invention :**

Selon les différentes caractéristiques de l'invention, le dispositif comprend une monture équatoriale mono-axiale, afin de faire un suivi parfait sans besoin de changer l'inclinaison du panneau PV, avec un seul moteur de type pas à pas pour minimiser la consommation d'énergie. Le système sera commandé par une carte électronique à base de microcontrôleur de série PIC, la position du soleil est donnée par un capteur mono-axiale à deux LDR.

Avec un tel dispositif, le rendement du panneau photovoltaïque se bascule annuellement entre 91,7% et 100% par rapport au rendement maximum (par rapport à une surface normale au rayonnement solaire).

Afin de compenser cette diminution, nous avons introduit au panneau photovoltaïque un dispositif bien calculé basé sur des miroirs, pour maintenir le rendement au maximum pendant toute l'année.

### **Brève description des dessins :**

La présente invention sera mieux comprise à l'étude d'un mode de réalisation particulier pris à titre d'exemple nullement limitatif et illustré par les dessins annexés, sur lesquels :

- Figure 1 : présente la position de l'axe de suivi de la monture équatorial d'un télescope par rapport à l'axe de rotation terrestre.
- Figure 2 : présente le fonctionnement d'une monture équatoriale d'un télescope.
- Figure 3 : présente un panneau photovoltaïque orienté vers le soleil avec un suivi Équatorial.
- Figure 4 : présente la position de l'axe de suivi de notre suiveur solaire par rapport à l'axe de rotation terrestre.
- Figure 5 : présente le trajet solaire pendant les solstices et l'équinoxe.
- Figure 6 : présente un panneau photovoltaïque sur la monture équatorial proposé.
- Figure 7 : présente la mise en station à travers l'axe de suivi de la monture.
- Figure 8 : présente la monture équatoriale proposée pour notre suiveur solaire.
- Figure 9 : présente l'interface de simulateur en ligne PVGIS.
- Figure 10 : présente un panneau photovoltaïque avec les deux miroirs en haut et en bas sur notre suiveur solaire équatorial.
- Figure 11 : montre que les deux miroirs ajoutés en haut et en bas n'auront aucune influence sur le panneau PV pendant les jours des équinoxes.

- Figure 12 : présente l'influence de miroir ajouté au panneau PV en bas, afin de compenser la diminution de rendement pendant le solstice d'hiver.
- Figure 13 : présente l'influence de miroir ajouté au panneau PV en haut, afin de compenser la diminution de rendement pendant le solstice d'été.
- Figure 14 : présente la taille des miroirs ajoutés au panneau PV et leur angle d'inclinaison.
- Figure 15 : présente un réducteur de type vise sans fin.
- Figure 16 : présente le capteur solaire mono-axial utilisé à base de deux photorésistances LDR.
- Figure 17 : présente le schéma de la carte de contrôle.

### **Description détaillée de l'invention :**

Afin de faire une description détaillée de l'invention, on va définir d'abord la monture équatoriale qui sera développée pour notre panneau photovoltaïque.

#### **La monture Equatorial :**

La monture équatoriale est un système mécanique utilisé pour les instruments d'observation du ciel, tel que les lunettes astronomiques et les télescopes. Il est basé sur l'idée de faire un suivi parfait et facile avec un seul axe qui est parallèle à l'axe de rotation terrestre (Figure 1,2).

Puisque le soleil comme tous les astres du ciel, fait un trajet apparent circulaire autour de l'étoile polaire (Figure 3), l'axe de suivi sera orienté vers celle-ci. De cette façon, le système suivra le soleil parfaitement, sans avoir besoin d'utiliser deux moteurs en même temps : un seul suffira (Figure 4).

Le problème qui se pose, est que le soleil change son inclinaison pendant l'année, entre  $+23,45^\circ$  (au solstice d'été) et  $-23,45^\circ$  (au solstice d'hiver) passons par l'équinoxe  $0^\circ$  (le soleil est sur l'équateur) (Figure 5). Notre travail consiste à réaliser une monture équatoriale avec deux axes, l'axe de mise en station (qui permet à l'axe de suivi de s'orienter vers l'étoile polaire), autre de suivi, et on va fixer le panneau PV de façon à s'orienter perpendiculairement vers l'équateur (Figure 6).

Afin de préciser la mise en station de la monture à n'importe quel endroit du globe, nous allons utiliser un tube en fer rond et creux. Ce dernier va permettre de voir l'étoile polaire pendant l'installation de système (Figure 7). Cependant, nous pouvons orienter seulement l'axe de suivi vers le sud, incliné d'un angle égal à l'attitude de lieu (Figure 6).

Cet axe sera tenu par deux paliers, et l'arbre est maintenu en position par deux vis de pression sur la bague intérieure de chaque palier (Figure 8).

Une étude théorique faite montre que pendant les jours d'équinoxe (le 21 mars et 23 septembre), le panneau solaire reçoit le maximum d'irradiation solaire que pourra recevoir une surface (une

surface normale au rayonnement solaire), puisque celle-là est constamment orientée vers le soleil. Et tant qu'on s'éloigne des jours d'équinoxe, le rendement baisse jusqu'au 91,7% (les solstices d'hiver et d'été le 21 juin et 22 décembre). Ses résultats sont validés par une simulation faite via l'utilitaire PVGIS en ligne sur le site « JRC EUROPEAN COMMISSION » (Figure 9).

Afin de compenser cette perte, on va ajouter deux petits miroirs en haut et en bas du panneau photovoltaïque (Figure 10), calculé d'une façon à garder le rendement inchangé pendant les jours d'équinoxe (la réflexion des miroirs ne touche pas le panneau) (Figure 11).

Au fur et à mesure que le soleil décline au solstice d'hiver, le miroir en bas reflète les rayons vers le panneau, celui en haut n'a pas d'influence (Figure 12). De même pour le solstice d'été le miroir en haut reflète vers le panneau et celui en bas n'a pas d'influence (Figure 13). La taille de miroir est calculée de façon à compenser juste la perte due à l'inclinaison solaire (entre  $+23,45^\circ$  au solstice d'été et  $-23,45^\circ$  au solstice d'hiver) qui est égale à 8,7% ( $100\%-91,7\%$ ).

De cette façon on garde le rendement du panneau photovoltaïque au maximum toute l'année, avec un seul axe de suivi.

Les résultats des calculs théoriques réalisés pour déterminer la taille des miroirs et leur angle d'inclinaison par rapport au panneau photovoltaïque sont :  $AC = 0,16 \times AB$  (avec un taux de réflexion des miroirs  $R=1$ ) et  $\beta=35,63^\circ$  (Figure 14).

### **La motorisation:**

Puisque la monture va supporter un ensemble des modules photovoltaïques, le moteur utilisé doit être suffisamment puissant pour faire tourner le mécanisme. Or, l'utilisation d'un moteur puissant entraîne une grande puissance à consommer. C'est pour cette raison que nous avons utilisé un réducteur assez puissant pour augmenter le couple du moteur. Ce réducteur est de type roue à vis sans fin (Figure 15), ou cas de besoin on pourra ajouter un autre réducteur au système (entre le moteur et le vis sans fin).

Pour la motorisation, Nous avons le choix entre deux moteurs, soit un moteur DC ou un moteur pas à pas. Puisque le moteur pas à pas est un moteur à faible consommation et de haute précision, nous avons décidé d'opter pour celui-ci dans notre système.

### **Le système de commande :**

Puisque nous utilisons un seule axe de rotation, Le capteur est de type mono-axial à base de deux photorésistances LDR séparées par un obstacle, si le soleil est orienté directement au capteur, les deux LDR sont éclairées, sinon l'une d'entre elles est sous l'ombre. Pour éclairer les deux LDR, le moteur doit être actionné soit à droite soit à gauche, ainsi le panneau photovoltaïque reste toujours orienté vers le soleil. (Figure 16)

La carte de commande est à base d'un microcontrôleur de type PIC16F876A, qui convertira les deux signaux analogiques récupérés du capteur (Figure 17) par les pattes RA0 et RA1, à deux codes numériques de 8 bits chacun (entre 0 et 1023) qui seront stockés sur des variables (Figure 17).

### **Mode nuit :**

Au début, le microcontrôleur teste les deux valeurs, si elles sont au maximum (1023), c'est-à-dire que nous sommes dans le mode nuit.

Le système fait un second test sur une variable d'un bit :

- Si elle est à 0, le moteur tourne jusqu'à ce que le panneau touche un frein installé sur la monture. Ainsi, le panneau est orienté vers l'est pour se préparer au lever du soleil, et la valeur de la variable d'un bit est mise à 1 par le système.
- Si la variable est égale à 1, le système refait le test à nouveau (c'est une modification d'orientation du panneau qui se fait une seule fois après le coucher du soleil).

### **Mode jour :**

- Si les deux valeurs sont inférieures à 1023, c'est le mode jour. Le système compare la différence, si elle est positive, le PIC actionnera le moteur à tourner dans un sens bien déterminé, sinon le moteur tournera dans le sens inverse (pour faire le suivi).
- Le but est de maintenir la différence réelle proche de zéro, et comme ça nous gardons le panneau orienté vers le soleil.
- Après chaque correction, le système refait le test sur les deux variables toutes les 5 minutes.
- L'écran LCD affiche aussi l'état réel du moteur : en arrêt, tourne à gauche ou à droite (Figure 17).
- La carte contient quatre boutons commutateurs, deux pour faire actionner manuellement le moteur pas à pas à gauche et à droite. Un bouton commutateur pour activer et désactiver le suivi (le suivi est activé par défaut), et le dernier pour allumer et éteindre l'afficheur LCD (il est éteint par défaut pour minimiser la consommation d'énergie) (Figure 17).

**Nouvelles revendications (N°47547):**

- 1- Monture mono-axiale Equatoriale, comprenant: un axe polaire sous forme d'un tube monté sur un support mouvementé via deux paliers ou plus permet à cet axe d'être orienté facilement vers l'étoile polaire, ce tube est un tube creux afin de visualiser l'étoile polaire pendant la mise en station. Un support des panneaux photovoltaïque fixé parallèlement au dessus de l'axe polaire avec le maintien de centre de gravité des panneaux photovoltaïques.
- 2- Système selon la revendication 1, comprenant en outre un miroir plat rectangulaire de longueur égale la longueur de support des panneaux et une largeur égale 0.16 fois sa longueur. Ce miroir est fixé en haut du support des panneaux photovoltaïques et incliné de la manière à refléter vers les panneaux photovoltaïques la totalité de rayonnement solaire au jour de solstice d'été, théoriquement une inclinaison égale  $35.63^\circ$  par rapport à l'axe équatorial ou par rapport au support des panneaux.
- 3- Système selon la revendication 1, comprenant en outre un miroir plat rectangulaire de longueur égale la longueur de support des panneaux et une largeur égale 0.16 fois sa longueur. Ce miroir est fixé en bas du support des panneaux photovoltaïques et inclinés de la manière à refléter vers les panneaux photovoltaïques la totalité de rayonnement solaire au jour de solstice d'hiver, théoriquement une inclinaison égale  $35.63^\circ$  par rapport à l'axe équatorial ou par rapport au support des panneaux.
- 4- Système selon la revendication 1, comprenant en outre un contrôleur de positionnement mono axial fixé perpendiculairement sur le support des panneaux photovoltaïques et qui a pour rôle le contrôle de la position de la monture par rapport à la position polaire du soleil pendant le suivi.
- 5- Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre un système de motorisation fixé à l'axe de suivi polaire, avec un moteur pas à pas et un coupleur de type roue à vis sans fin, la roue contient un trou au centre permet lors de la mise en station d'observer l'étoile polaire à travers l'axe de suivi polaire.
- 6- La carte de commande selon la revendication 5 comme elle est détaillée dans la description est caractérisée par une carte électronique basée sur un microcontrôleur de type pic qui fait la correction de suivi chaque 5 min, au coucher du soleil la carte de commande actionne le système de motorisation vers l'Est jusqu'à ce que le support des panneaux touche un frein installé sur la monture. Ainsi, le panneau est orienté vers l'est pour se préparer au lever du soleil.



Dessins :

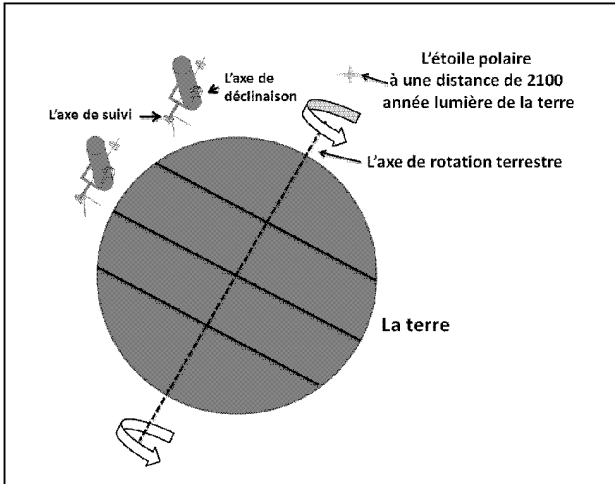


Figure 1

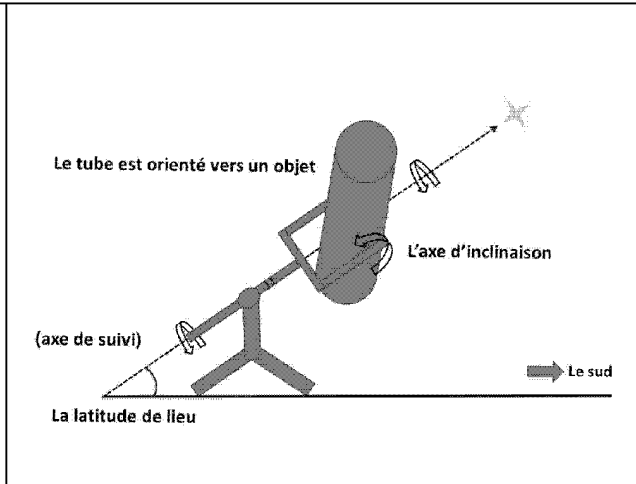


Figure 2

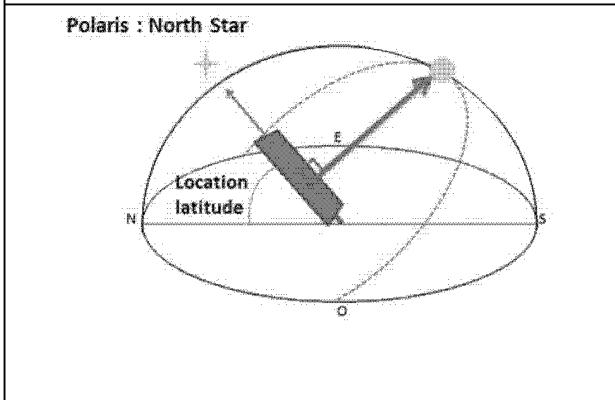


Figure 3

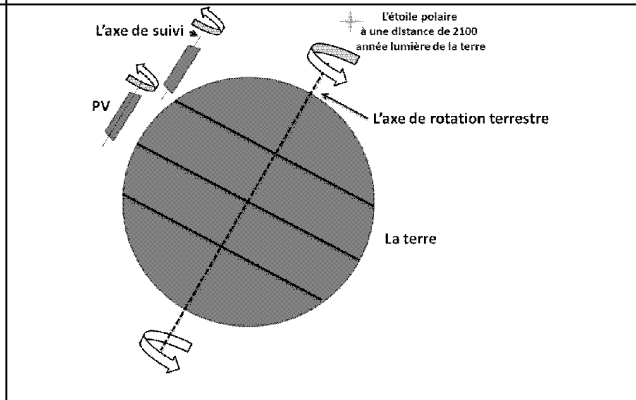


Figure 4

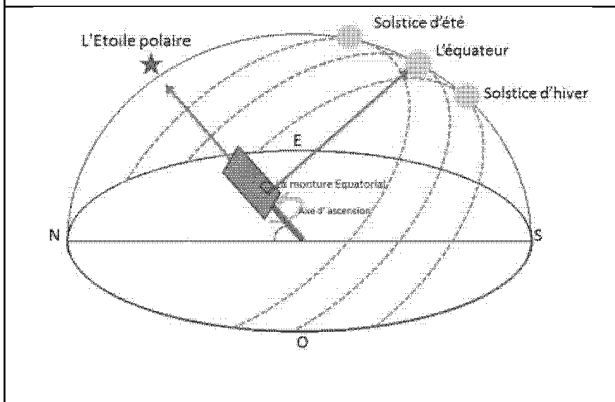


Figure 5

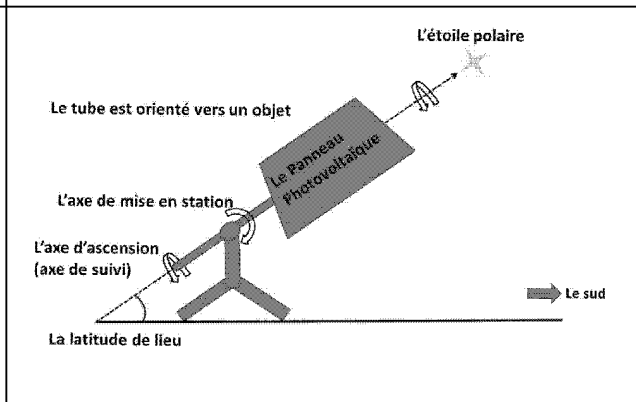


Figure 6

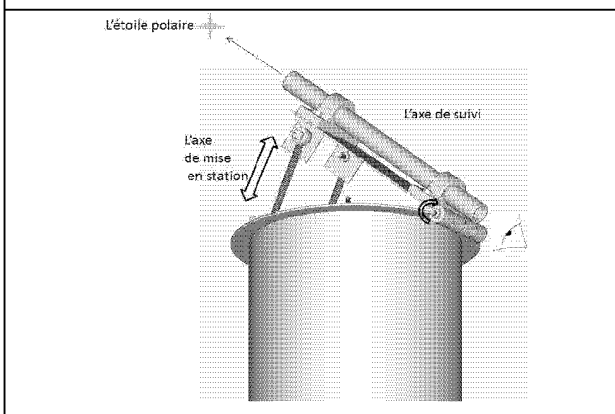


Figure 7

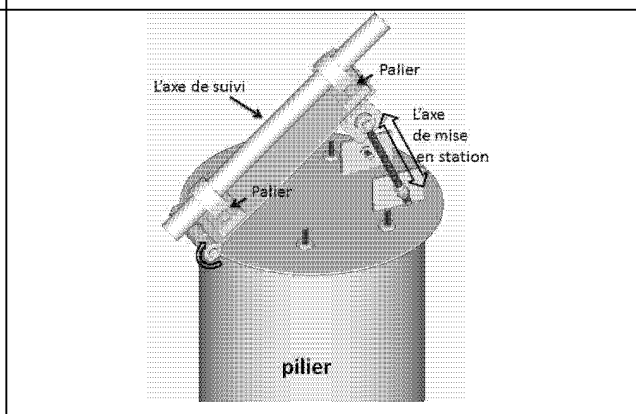


Figure 8

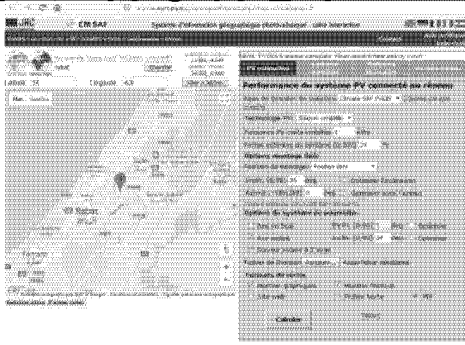


Figure 9

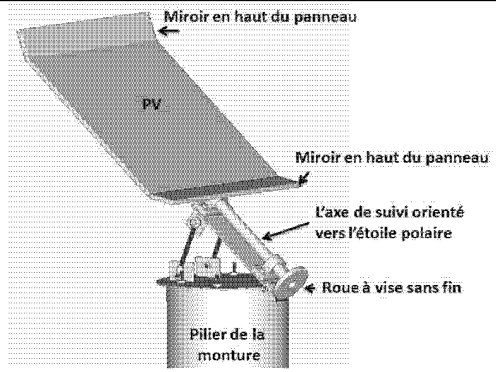


Figure 10

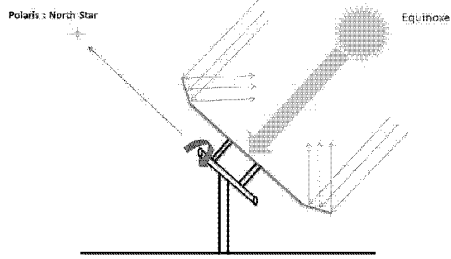


Figure 11

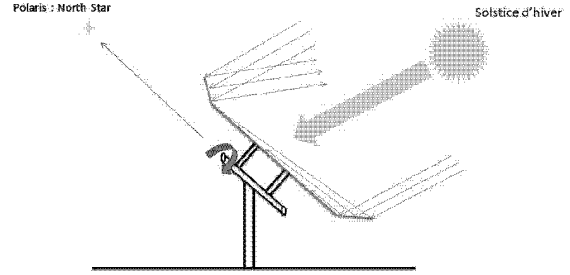


Figure 12

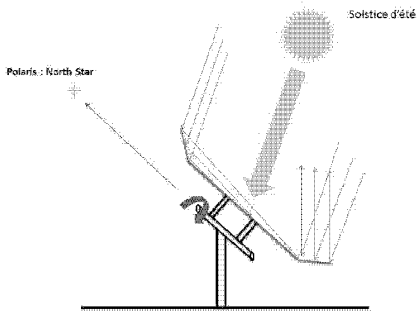


Figure 13

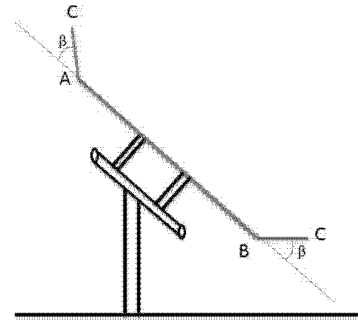


Figure 14

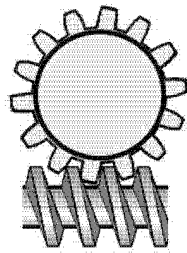


Figure 15

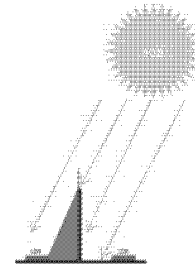


Figure 16

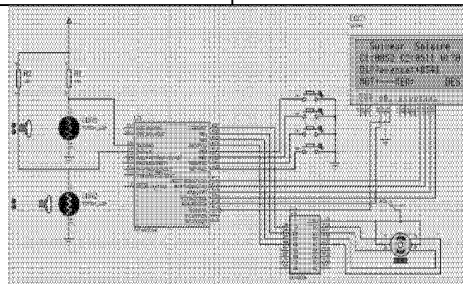


Figure 17

## RAPPORT DE RECHERCHE DEFINITIF AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE

Établi conformément à l'article 43.2 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 47547	Date de dépôt : 26/11/2019
Déposant : Université Mohammed V de Rabat	
Intitulé de l'invention : Suiveur Solaire Mono-axiale avec une Monture Équatorial, pour un Modèle amélioré d'un Panneau Photovoltaïque	
Classement de l'objet de la demande :	
CIB : F24S30/42	
CPC : F24S30/428	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité	
Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 3 : Remarques de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 4 : Observations à propos de revendications modifiées qui s'étendent au-delà du contenu de la demande telle qu'initialement déposée <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: Mohamed EL KINANI	Date d'établissement du rapport : 28/10/2021
Téléphone: (+212) 5 22 58 64 14	



**Partie 1 : Considérations générales****Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Demande telle qu'initialement déposée
- Demande modifiée suite à la notification du rapport de recherche préliminaire :
  - Revendications  
1-6
- Observations à l'appui des revendications maintenues
- Observations des tiers suite à la publication de la demande
- Réponses du déposant aux observations des tiers
- Nouveaux documents constituant des antériorités :
  - Suite à la recherche complémentaire (Couvrant les documents de l'état de la technique qui n'étaient pas disponibles à la date de la recherche préliminaire)  
  
CN106931667 ; WENZHOU LIYI ELECTRICAL AND MECH TECH CO LTD; 2017-07-07
  - Suite à la recherche additionnelle (couvrant les éléments n'ayant pas fait l'objet de la recherche préliminaire)
- Observations à l'encontre de la décision de rejet

**Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité****Cadre 3 : Remarques de clarté***Remarques de forme*

Les revendications 1-6 ne remplissent pas les critères de forme énoncés dans la règle 9 du décret d'application de la loi 17/97 telle que modifiée et complétée par la loi 23/13, alors qu'une telle présentation serait en l'espèce appropriée. Lesdites revendications 1-6 portent sur un dispositif dont les caractéristiques sont dépendantes les unes des autres, tandis que les formulations utilisées « monture mono-axiale », « système », « procédé » et « la carte de commande » semblent indiquer que l'objet de la protection demandée est différent au niveau de chaque revendication. Il conviendrait alors d'utiliser au niveau de chaque revendication, un seul et même objet, et d'inclure dans la partie caractérisante, les caractéristiques dont la protection est envisagée.

**Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications 1-6 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive	Revendications 1-6 Revendications aucune	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-6 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants :

D3: CN106931667

### 1. Nouveauté

Aucun document de l'état de la technique mentionné ne décrit une monture mono-axiale équatoriale tel que décrit dans la revendication 1 de la présente demande.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. Par conséquent, l'objet des revendications dépendantes 2-6 est également nouveau.

### 2. Activité inventive

Le document D3 considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1 de la présente demande divulgue une monture mono-axiale équatoriale comprenant un premier support mouvementé via au moins deux paliers et un support de panneaux photovoltaïque fixé parallèlement au-dessus dudit premier support.

Par conséquent, L'objet de la revendication 1 diffère de ce système connu essentiellement en ce que l'axe polaire est sous forme d'un tube creux monté sur le support de la monture.

Le problème technique objectif que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme faciliter l'alignement équatorial de la monture au moment de la pose.

La solution à ce problème, exposée dans la revendication 1 de la présente demande n'est ni décrite ni rendue évidente dans l'art antérieur considéré.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 est considéré comme impliquant une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Par conséquent, l'objet des revendications dépendantes 2-6 est également considéré comme impliquant une activité inventive.

### 3. Application industrielle

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.