

(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 41763 B1** (51) Cl. internationale : **G05F 1/67**
(43) Date de publication : **31.10.2019**

-
- (21) N° Dépôt : **41763**
(22) Date de Dépôt : **04.01.2018**
(71) Demandeur(s) : **Université Ibn Zohr, Quartier Ryad Salam BP:32/S, Agadir, 80000 (MA)**
(72) Inventeur(s) : **SAHSAH Hassan ; AMGHAR Abdellah ; EL MENTALY Lahcen**
(74) Mandataire : **TOUALI Najat**

-
- (54) Titre : **Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation de la tension optimale VMPP d'un module photovoltaïque**
- (57) Abrégé : Dans ce brevet, nous avons développé une nouvelle technique du suivi du point à puissance maximale (PPM) qui appartient à la famille des techniques MPPT (Maximum Power Point Tracking) associées aux générateurs photovoltaïques. Cette méthode est basée sur la corrélation linéaire qui existe entre la température, l'éclairement solaire et la tension optimale correspondante au point à maximum de puissance. En conséquence, l'extraction de la puissance maximale à partir d'un module photovoltaïque sera très facile à l'aide du calcul de la tension optimale en se basant sur la mesure de l'éclairement solaire et de la température, ensuite la déduction directe du rapport cyclique optimal du convertisseur statique. L'atout major de cette technique est le repérage instantané et en temps réel du point à maximum de puissance ainsi qu'elle est facile à implanter dans n'importe quel convertisseur statique associé à n'importe quel générateur photovoltaïque. Mots clés : Maximum Power Point Tracking (MPPT), Module Photovoltaïque, Tension optimale VMPP, Convertisseur DC-DC, Convertisseur Buck.

Abrégé du contenu de l'invention

Dans ce brevet, nous avons développé une nouvelle technique du suivi du point à puissance maximale (PPM) qui appartient à la famille des techniques MPPT (Maximum Power Point Tracking) associées aux générateurs photovoltaïques. Cette méthode est basée sur la corrélation linéaire qui existe entre la température, l'éclairement solaire et la tension optimale correspondante au point à maximum de puissance. En conséquence, l'extraction de la puissance maximale à partir d'un module photovoltaïque sera très facile à l'aide du calcul de la tension optimale en se basant sur la mesure de l'éclairement solaire et de la température, ensuite la déduction directe du rapport cyclique optimal du convertisseur statique. L'atout major de cette technique est le repérage instantané et en temps réel du point à maximum de puissance ainsi qu'elle est facile à implanter dans n'importe quel convertisseur statique associé à n'importe quel générateur photovoltaïque.

Mots clés : Maximum Power Point Tracking (MPPT), Module Photovoltaïque, Tension optimale V_{MPP} , Convertisseur DC-DC, Convertisseur Buck.

Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation de la tension optimale V_{MPP} d'un module photovoltaïque

Description de l'invention

Introduction

Un générateur photovoltaïque (PV) que ça soit une cellule, ou un ensemble de cellules interconnectées, peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortie, mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de tension appelées respectivement courant optimal I_{MPP} et tension optimale V_{MPP} .

En outre, La puissance électrique produite par une cellule solaire photovoltaïque dépend fortement de l'éclairement solaire et de la température. La fluctuation de ces deux paramètres provoque le changement de la caractéristique courant-tension du générateur photovoltaïque ce qui entraîne le déplacement du point à maximum de puissance. À cet effet, un convertisseur DC-DC doit être inséré entre le générateur photovoltaïque et la charge (le récepteur) afin de contrôler le courant dudit générateur pour qu'il converge vers la valeur de la tension optimale V_{MPP} . Ce convertisseur doit être capable de faire fonctionner le générateur photovoltaïque à sa puissance maximale par le biais d'un contrôleur de suivi connu dans la littérature sous le nom MPPT (Maximum Power Point Tracking). Ce dernier, est basé sur l'utilisation d'un algorithme de recherche du maximum de la courbe de puissance du générateur photovoltaïque.

À ce jour, plusieurs techniques MPPT ont été publiées ou brevetées. Elles diffèrent dans de nombreux aspects tels que l'efficacité, la vitesse de convergence, la complexité, les capteurs nécessaires, le coût, la mise en œuvre du matériel, ainsi que divers autres aspects. Cependant, il est inutile d'utiliser une méthode plus complexe ou plus coûteuse si une plus simple et moins coûteuse conduit à des résultats similaires. C'est pourquoi certaines techniques publiées ne sont pas utilisées. La facilité de mise en œuvre et la notion du suivi en temps réel sont des facteurs très importants dans le choix de la technique MPPT à utiliser.

Dans ce travail, nous allons présenter une nouvelle méthode MPPT temps réel qui calcule la tension optimale V_{MPP} par une relation simple à implanter dans les systèmes embarqués et qui ne nécessite que la mesure de la température et de l'éclairement solaire.

Description de la méthode

La nouvelle méthode consiste à repérer le point à puissance maximale par le calcul de la tension optimale V_{MPP} comme suit :

$$V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$$

Avec V_{MPP} est la tension optimale en V, S est l'éclairement solaire reçu par le générateur photovoltaïque en w/m^2 et T est la température ambiante en °C.

γ_0 , γ_1 et γ_2 sont des constantes qui doivent être déterminées une seule fois et qui dépendent seulement du module PV utilisé.

L'algorithme de cette méthode est présenté ci-dessous :

1. Mesurer la tension de la charge (récepteur) notée V_{out}
2. Mesurer la température ambiante notée T
3. Mesurer l'éclairement solaire notée S
4. Calculer la tension optimale V_{MPP} par la relation $V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$
5. Le rapport cyclique optimal noté α sera calculée par la relation liant le rapport cyclique, la tension d'entrée du convertisseur DC-DC et la tension de sortie de celui-ci.

Exemple : $\alpha = \frac{\text{Tension de sortie du convertisseur}}{\text{Tension d'entrée du convertisseur}}$ pour le convertisseur buck, avec Tension de sortie du convertisseur = V_{out} et Tension d'entrée du convertisseur = V_{MPP} .

6. Revenir à la ligne 1

Avant d'appliquer cet algorithme, il faut au préalable déterminer les constantes γ_0 , γ_1 et γ_2 du générateur PV par une méthode d'apprentissage qui consiste à établir, par la simulation, un système de trois équations libres et de le résoudre par une méthode de résolution des systèmes à trois équations et trois inconnus.

$$\begin{cases} V_{MPP1} = \gamma_0 + \gamma_1 S_1 + \gamma_2 T_1 \\ V_{MPP2} = \gamma_0 + \gamma_1 S_2 + \gamma_2 T_2 \\ V_{MPP3} = \gamma_0 + \gamma_1 S_3 + \gamma_2 T_3 \end{cases}$$

Tout calcul fait, on trouvera :

$$\gamma_0 = \frac{-S_1(V_{MPP2}T_3 - V_{MPP3}T_2) + S_2(V_{MPP1}T_3 - V_{MPP3}T_1) + S_3(V_{MPP2}T_1 - V_{MPP1}T_2)}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

$$\gamma_1 = \frac{(V_{MPP2}T_3 - V_{MPP3}T_2) - (V_{MPP1}T_3 - V_{MPP3}T_1) - (V_{MPP2}T_1 - V_{MPP1}T_2)}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

$$\gamma_2 = \frac{S_1(V_{MPP2} - V_{MPP3}) + S_2(V_{MPP3} - V_{MPP1}) + S_3(V_{MPP1} - V_{MPP2})}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

Cette opération de détermination des coefficients γ_0 , γ_1 et γ_2 doit être faite une seule fois, soit d'une façon automatique, c.-à-d. que le microcontrôleur va mesurer trois points non liés et d'appliquer les relations décrites ci-dessus, ou d'une manière manuelle via la simulation par un logiciel adéquat.

Démonstration de la méthode

Grâce aux logiciels Matlab et PSIM, nous avons pu découvrir une corrélation linéaire trois dimensions entre la tension optimale V_{MPP} , la température ambiante T et l'éclairement solaire S .

En effet, nous avons étudié le comportement de la tension optimale V_{MPP} en fonction de différentes températures et éclairagements solaires. Ensuite, nous avons tracé cette tension en fonction de la température et de l'éclairement solaire, et grâce à la régression linéaire de trois vecteurs (V_{MPP} , T , S), nous avons obtenu l'équation ci-dessous :

$$V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T + \gamma_3 S T$$

Afin de donner plus de certitude à notre méthode, nous avons choisi trois modules photovoltaïques différents; la régression linéaire pour ces trois modules a montré que le coefficient γ_3 est toujours nul ce qui amène à l'équation finale :

$$V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$$

Le tableau ci-dessous récapitule le modèle décrit pour les trois modules PV utilisés :

Marque du module PV	Type du module PV	γ_0	γ_1	γ_2	γ_3	R^2
First solar FS-265	Couches minces CdS/CdTe	44.3657	0.025	-0.1066	0	0.8902
Koyocera KD215GX	Polycristallin	27.52	0.0019	-0.1143	0	0.977
Sun Power E19 320	monocristallin	54.3638	0.0041	-0.2026	0	0.9689

Nous remarquons très bien que le coefficient de détermination R^2 est supérieur à 0.9 pour le silicium monocristallin et multi-cristallin et très proche de 0.9 pour les couches minces.

La figure 1 représente le modèle de régression pour le module PV Koyocera KD215GX.

Exemple d'application

Afin de prouver la performance de la méthode proposée, nous l'avons appliqué sur le MSX-60 qui s'agit d'un module PV poly-cristallin de Solarex. Celui-ci sera connecté à un convertisseur DC-DC abaisseur de type Buck. Le système servira à charger une batterie de 12v comme indiqué dans la figure 2.

La figure 3 montre que le contrôleur proposé suit en permanence et en temps réel la puissance maximale d'une manière parfaite quel que soient les conditions climatiques indiquées dans la figure 4.

Revendications

1. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et de l'éclairement solaire, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - 1.1. Mesurer la température notée T et l'éclairement solaire noté S
 - 1.2. Calculer la tension optimale notée V_{MPP} correspondante au point à maximum de puissance via l'équation $V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$ avec γ_0 , γ_1 et γ_2 sont des constantes qui ne dépendent que du module photovoltaïque utilisé.
 - 1.3. Agir sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC pour atteindre la tension optimale V_{MPP}
2. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il peut être implanté dans un contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking).
3. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il peut être implanté dans n'importe quel système embarqué.
4. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un module photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2 et 3, caractérisé en ce qu'il peut être associé à n'importe quel convertisseur DC-DC ou DC-AC.
5. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un module photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2, 3 et 4, caractérisé en ce qu'il peut être associé aux cellules amorphes, poly-cristallines, monocristallines ou couches minces.

Figures et schémas

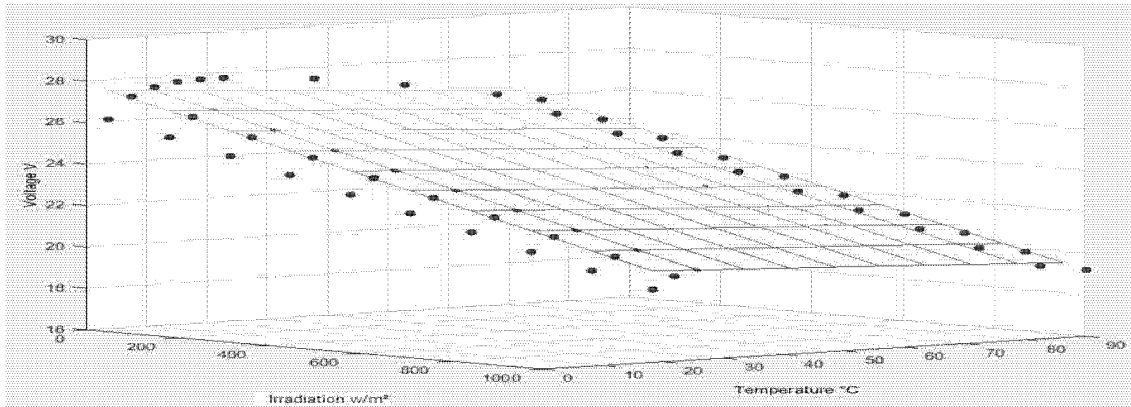


Figure 1: le modèle de régression pour le module PV Koyocera KD215GX

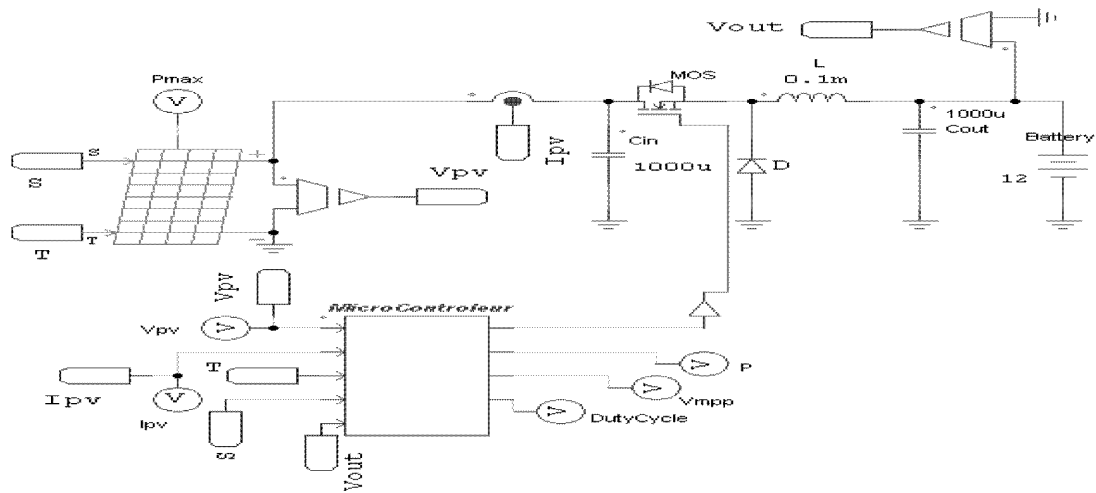


Figure 2: le schéma complet du contrôleur MPPT associé au convertisseur Buck

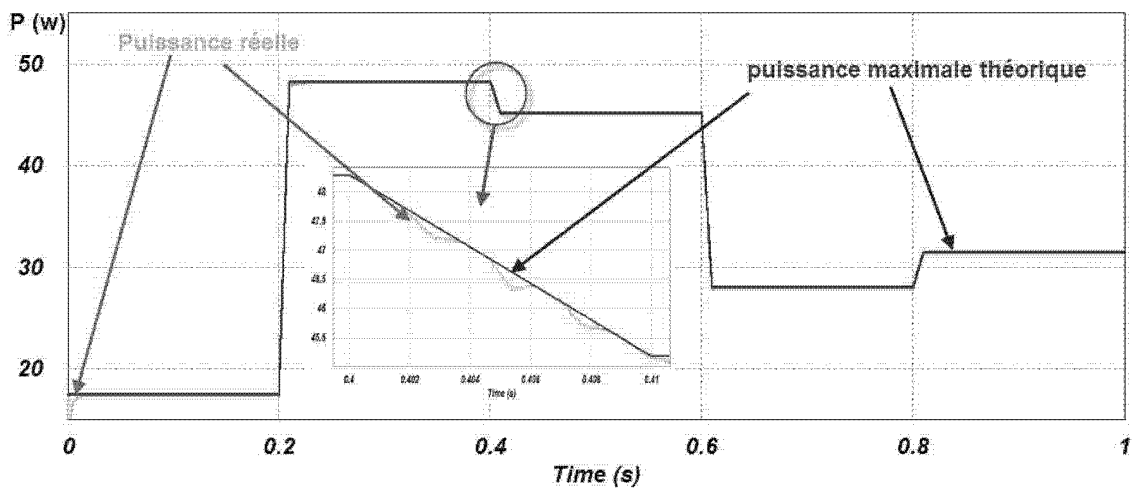


Figure 3: L'allure de la puissance réelle instantannée du module MSX-60

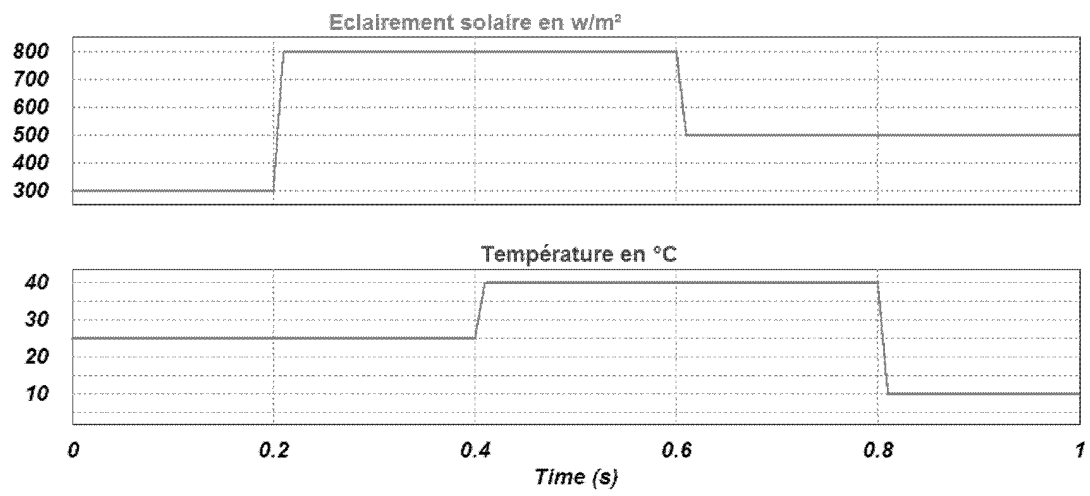
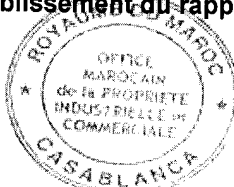


Figure 4: Les allures de l'éclairement solaire et de la température appliqués au module MSX-60

**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 : 41763	Date de dépôt : 04/01/2018
Déposant : Université Ibn Zohr	
Intitulé de l'invention : Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation de la tension optimale VMPP d'un module photovoltaïque	
Classement de l'objet de la demande : CIB : G 05F 1/67	
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 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: Ilham Oubiya	Date d'établissement du rapport : 01/10/2019
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
5
- 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)
 - 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 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications 1-5	Oui
	Revendications aucune	Non
Activité inventive	Revendications 1-5	Oui
	Revendications aucune	Non
Application Industrielle	Revendications 1-5	Oui
	Revendications aucune	Non

Il est fait référence aux documents suivants:

D1 : US20110224839A1

1. Nouveauté

Aucun des documents cités ci-dessus ne divulgue l'ensemble des caractéristiques techniques énoncées dans les revendications 1-5. Par conséquent, l'objet desdites revendications est nouveau au sens de l'art. 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

2. Activité inventive

Le document D1 divulgue (les références entre parenthèses s'appliquant à ce document) un procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et de l'éclairement solaire, comprenant les étapes suivantes (voir fig. 2, §[0013] et [0019]) :

- Mesurer la température et l'éclairement solaire ;
- Calculer la tension optimale V_{mpp} ;

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de D1 en ce que ledit procédé :

- Calcule la tension optimale en fonction de la température et de l'éclairement solaire ;
- Calcule le rapport cyclique optimal par la relation liant le rapport cyclique, la tension d'entrée du convertisseur DC-DD et la tension de sortie de celui-ci.

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme une alternative pour repérer instantanément le point à maximum de puissance d'un module photovoltaïque.

La solution à ce problème proposée dans la revendication indépendante de la présente demande est considérée comme impliquant une activité inventive. En effet, l'homme du métier ne serait pas parvenu d'une manière évidente à reproduire l'invention revendiquée en partant de D1. Aussi, aucun enseignement n'a été trouvé dans le reste de l'état de la technique disponible qui aurait incité l'homme du métier, en partant du document D1, à atteindre le résultat recherché. Par conséquent, l'objet de la revendication 1 implique une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications 2-5 dépendent de la revendication indépendante 1 et dont l'objet est considéré inventif, comme indiqué auparavant, et elles satisfont donc également, en tant que telles, aux exigences de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

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.