

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 56600 A1** (51) Cl. internationale : **F24S 40/10; H02S 50/10; F24J 2/40; H02S 50/00**
- (43) Date de publication : **31.10.2023**

- 
- (21) N° Dépôt : **56600**
- (22) Date de Dépôt : **25.04.2022**
- (71) Demandeur(s) : **Green Energy Park, Route régionale R206, Km 2, 6 Benguerir (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **ABRAIM Mounir**
- (74) Mandataire : **SARIKH SALIMA**

---

(54) Titre : **GEP-PVSMS : Système de mesure, quantification et de traitement des données d'encrassement des centrales photovoltaïques en temps réel.**

(57) Abrégé : La courante invention présente un système qui sert à quantifier l'impact de la déposition de la poussière ou d'autres dépôts sur les surfaces des modules photovoltaïques (appelé l'encrassement) dans les centrales solaires photovoltaïques en temps réel. Cette invention est également capable de traiter les données mesurées et de calculer le pourcentage de rayonnement solaire perdu en raison de l'encrassement. Cette invention se compose d'un shunt box 100 pour mesurer les courants de court-circuit des deux panneaux (un panneau se maintient propre 103, l'autre accumule naturellement l'encrassement 104), d'une cellule de référence 101 pour mesurer le rayonnement solaire reçu par les panneaux, d'un système d'acquisition et de traitement des données 102, et d'une plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 qui dispose d'une interface d'affichage des données en temps réel, et un outil logiciel spécialisé dans le traitement des données d'encrassement qui aide les propriétaires et les gestionnaires des centrales photovoltaïques de prendre des décisions concernant le nettoyage afin d'augmenter les revenus des centrales solaires et de diminuer les coûts de nettoyage par une stratégie de nettoyage optimisée. Cette invention permet de quantifier avec précision la quantité de rayonnement solaire qui n'atteint pas les cellules réceptrices des panneaux photovoltaïques en raison de l'accumulation de l'encrassement. Il fournit également aux professionnels de l'énergie solaire les informations nécessaires pour analyser et gérer l'impact de l'encrassement dans les centrales solaires opérationnelles, ou pour l'évaluation du site et la prédiction des performances des futures centrales solaires dans le cas d'études de pré-construction.

## **GEP-PVSMS : Système de mesure, quantification et de traitement des données d'encrassement des centrales photovoltaïques en temps réel.**

### **Abrégé**

La courante invention présente un système qui sert à quantifier l'impact de la déposition de la poussière ou d'autres dépôts sur les surfaces des modules photovoltaïques (appelé l'encrassement) dans les centrales solaires photovoltaïques en temps réel. Cette invention est également capable de traiter les données mesurées et de calculer le pourcentage de rayonnement solaire perdu en raison de l'encrassement. Cette invention se compose d'un shunt box 100 pour mesurer les courants de court-circuit des deux panneaux (un panneau se maintient propre 103, l'autre accumule naturellement l'encrassement 104), d'une cellule de référence 101 pour mesurer le rayonnement solaire reçu par les panneaux et la température de la cellule photovoltaïque, d'un système d'acquisition et de traitement des données 102, et d'une plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 qui dispose d'une interface d'affichage des données en temps réel, et un outil logiciel spécialisé dans le traitement des données d'encrassement qui aide les propriétaires et les gestionnaires des centrales photovoltaïques de prendre des décisions concernant le nettoyage afin d'augmenter les revenus des centrales solaires et de diminuer les coûts de nettoyage par une stratégie de nettoyage optimisée. Cette invention permet de quantifier avec précision la quantité de rayonnement solaire qui n'atteint pas les cellules réceptrices des panneaux photovoltaïques en raison de l'accumulation de l'encrassement. Il fournit également aux professionnels de l'énergie solaire les informations nécessaires pour analyser et gérer l'impact de l'encrassement dans les centrales solaires opérationnelles, ou pour l'évaluation du site et la prédiction des performances des futures centrales solaires dans le cas d'études de pré-construction.

## **Introduction et contexte de l'invention :**

Les régions privilégiées pour les projets des centrales photovoltaïques sont non seulement dotées d'un potentiel solaire élevé, mais aussi d'un climat désertique exposé à une forte concentration de poussière dans l'atmosphère, à la rareté de l'eau, faible taux de précipitation et à certains événements extrêmes tels que les tempêtes de poussière. Par conséquent, l'encrassement des panneaux solaires reste un problème majeur qui entraîne une perte de rendement importante, et qui augmente les coûts d'exploitation et de maintenance des centrales solaires [1]. Plusieurs études ont conclu que l'accumulation de l'encrassement sur la surface des panneaux photovoltaïques est l'un des paramètres les plus significatifs conduisant à une diminution des performances et qui rend ces centrales photovoltaïques économiquement non fiables [2]. A Ghazi et al [3] ont mené une étude pendant trois mois en analysant les effets de l'encrassement sur les panneaux solaires des rues de Bagdad, en Irak. L'étude a montré que les pertes moyennes totales pour les panneaux solaires nettoyés chaque semaine étaient de 14,1% et pour ceux jamais nettoyés, de 58,96%. Ali et al. [4] ont évalué l'effet du dépôt de l'encrassement sur des modules PV en silicium monocristallin et polycristallin situés à Taxila, au Pakistan. Les panneaux ont été installés à l'extérieur et exposés à des conditions réelles pendant 11 semaines. Ils ont remarqué que les performances des panneaux diminuaient à mesure que le dépôt de poussière sur leur surface augmentait. Ils ont constaté une réduction de la puissance de sortie de 20 % en moyenne pour les modules monocristallins et de 16 % pour les modules polycristallins. Dans une étude menée par Massi et al dans les Pouilles [5], en Italie, deux systèmes solaires PV de 1 MW ont été analysés avant et après le nettoyage. L'un d'entre eux a été construit sur un site sablonneux et a montré une perte de puissance de 6,9 %, tandis que l'autre, qui se trouvait sur un sol plus compact, n'a montré qu'une perte de puissance de 1,1 %. Dans les conditions climatiques de Doha, Touati et al. [6] ont constaté une réduction de 30 % de l'efficacité des modules PV exposés au Qatar pendant une période de cinq mois. H.K. Elminir et al. [7] ont évalué l'effet de l'accumulation de l'encrassement pendant six mois d'exposition extérieure en Égypte. Au cours de cette période, une réduction de 60-70% de la puissance de sortie des modules PV a été observée. Zitouni et al. [8] ont étudié l'effet de l'encrassement dans un climat semi-aride marocain pendant une période de six mois en utilisant un système PV monocristallin. Ils ont observé que le taux d'encrassement atteignait en moyenne 0,02%/jour pendant la période pluvieuse et 0,32%/jour pendant la période sèche. On peut conclure que l'encrassement est un problème global pour les centrales photovoltaïques. Il est donc nécessaire de surveiller et monitorer ce phénomène afin de mieux comprendre son impact, de prévoir le rendement et d'optimiser la fréquence de nettoyage des centrales solaires photovoltaïques.

## Description du GEP-PVSMS :

L'encrassement représente un obstacle entre le rayonnement solaire incident et les cellules réceptrices des panneaux photovoltaïques. Ce qui engendre une atténuation du rayonnement reçu par les panneaux, alors une perte de performance importante. GEP-PVSMS est conçu pour être installé indépendamment ou comme un dispositif complémentaire à toute station météorologique nouvelle ou existante. Il est même conçu pour fonctionner avec toutes les technologies de panneaux photovoltaïques.

De nombreuses études ont été publiées qui testent différentes méthodes afin de calculer les pertes dues à l'encrassement, ainsi que leurs avantages et inconvénients [9], [10]. Ces études montrent que le courant de court-circuit d'un module solaire est directement proportionnel au rayonnement solaire reçu par un module photovoltaïque et peut être utilisé comme une méthode fiable pour mesurer de l'intensité des rayonnements qui atteint les cellules solaires [11]. Pour cela, GEP-PVSMS est basé sur la mesure du courant de court-circuit d'un module PV propre 103 et d'un autre module PV encrassé 104, pour fournir une solution simple, moins coûteuse et facilement déployable dans de nombreux points d'une installation solaire PV à grande échelle, pour déterminer avec précision la variabilité spatiale de l'encrassement au niveau d'une installation solaire. Le système peut être utilisé dans les centrales photovoltaïques opérationnelles ou les sites d'étude de pré-construction. Le système permet à l'homme du métier de sélectionner des modules PV identiques à ceux de l'installation PV ou à ceux qui seront utilisés dans le cas d'études de pré-construction, ce qui garantit que l'encrassement mesuré représente avec précision l'effet de l'encrassement sur l'installation PV en question.

Le système GEP-PVSMS (Figure 1) est composé principalement de quatre (4) parties :

- **La partie de mesure des courants de court-circuit (shunt box 100):**

Pour effectuer les mesures des courants, les deux panneaux sont court-circuités. Les courants de court-circuit sont mesurés grâce à un circuit de résistances shunt 112 de précision, qui délivre un signal différentiel proportionnel au courant de court-circuit de chaque panneau, ce qui garantit la précision du signal et la protection contre le bruit. Entre les mesures, le système maintient les modules PV au choix de l'homme du métier (à l'aide d'un bouton de commutation à 3 états 110), soit en circuit ouvert pour les modules en silicium cristallin (état C-Si) ou en court-circuit pour les modules à couche mince (état TF), afin de minimiser la dégradation des modules PV. Ce contrôle est assuré grâce à des relais 113 commandés par le système d'acquisition et de traitement des données 102. Ces relais peuvent également être maintenus toujours en circuit ouvert

en cas de déconnexion des modules PV sans risque de détruire les connecteurs par une coupure brutale d'un courant fort (état OFF). Un bouton-poussoir 109 est également intégré pour envoyer un signal lors d'une opération de maintenance ou de nettoyage (une impulsion pour le nettoyage du panneau de référence 103, deux impulsions pour le nettoyage des deux panneaux 103 et 104, trois impulsions pour les interventions de maintenance), ce qui peut être utile lors de l'interprétation des données. Le dimensionnement des éléments du shunt box 100 est conçu de telle manière qu'il pourra fonctionner même avec les nouvelles technologies de panneaux photovoltaïques à puissance élevée.

- **La partie de mesure du rayonnement solaire et la température de la cellule photovoltaïque (cellule de référence 101) :**

Le rayonnement solaire et la température de la cellule photovoltaïque sont mesurés à l'aide d'une cellule PV de référence et d'un capteur de température spécifique laminé sur la face arrière de la cellule de référence 101. La température et le rayonnement mesurés correspondent à la température et au rayonnement reçus par le module PV lorsqu'il est monté sur le même plan.

- **Système d'acquisition et traitement des données 102 :**

Les signaux délivrés par le shunt box 100 et la cellule de référence 101 sont branchés au convertisseur analogique-numérique (ADC) du système d'acquisition de données 102 afin de calculer les courants de court-circuit et le rayonnement solaire. Pour estimer l'impact de l'encrassement sur les panneaux PV. Le système GEP-PVSMS compare les courants de court-circuit des deux panneaux PV initialement identiques montés côte à côte : le premier est maintenu propre 103 par un nettoyage manuel ou automatique et l'autre reste naturellement encrassé 104 et il est soumis aux mêmes opérations de nettoyage du système photovoltaïque installé. Les données mesurées et calculées par le système d'acquisition et de traitement des données 102 peuvent être transmises vers la plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 via plusieurs protocoles de communication (Ethernet, Modbus, modem cellulaire...etc.). Les données sont transmises avec un pas de temps d'une minute pour être en conformité avec la norme internationale 61724-1 pour les recommandations de suivi des performances des systèmes photovoltaïques de la commission internationale de l'électrotechnique (IEC) [12].

- **La plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 :**

Cette plateforme permet à l'homme du métier de visualiser les données mesurées et calculées en temps réel. Elle dispose également d'un outil logiciel spécialisé dans l'analyse des données d'encrassement qui génère des rapports journaliers permettant de maintenir les performances optimales des installations PV exposés à l'encrassement en optimisant les décisions relatives au nettoyage. Elle permet également d'estimer la quantité du rayonnement solaire atténué par l'encrassement à partir des mesures de shunt box 100 et du rayonnement solaire mesuré par la cellule de référence 101. Ceci permet d'estimer la perte de l'énergie photovoltaïque produite. Par conséquent, si le coût de l'énergie électrique perdue dépasse le coût de nettoyage de la centrale solaire, une indication qu'un nettoyage doit être effectué apparaît dans le rapport généré.

**Références:**

- [1] K. Ilse *et al.*, « Techno-Economic Assessment of Soiling Losses and Mitigation Strategies for Solar Power Generation », *Joule*, vol. 3, n° 10, p. 2303-2321, oct. 2019, doi: 10.1016/j.joule.2019.08.019.
- [2] M. R. Maghami, H. Hizam, C. Gomes, M. A. Radzi, M. I. Rezaadad, et S. Hajighorbani, « Power loss due to soiling on solar panel: A review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, p. 1307-1316, 2016.
- [3] A. Ghazi et F. Mustafa, « Dust effects on the performance of PV street light in Baghdad city », 2013, p. 18-22.
- [4] H. M. Ali, M. A. Zafar, M. A. Bashir, M. A. Nasir, M. Ali, et A. M. Siddiqui, « Effect of dust deposition on the performance of photovoltaic modules in Taxila, Pakistan », *Thermal Science*, vol. 21, n° 2, p. 915-923, 2017.
- [5] A. Massi Pavan, A. Mellit, et D. De Pieri, « The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants », *Solar Energy*, vol. 85, n° 5, p. 1128-1136, mai 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.03.006.
- [6] F. Touati, M. Al-Hitmi, N. A. Chowdhury, J. A. Hamad, et A. J. S. P. Gonzales, « Investigation of solar PV performance under Doha weather using a customized measurement and monitoring system », *Renewable Energy*, vol. 89, p. 564-577, 2016.
- [7] H. K. Elminir, A. E. Ghitas, R. Hamid, F. El-Hussainy, M. Beheary, et K. M. Abdel-Moneim, « Effect of dust on the transparent cover of solar collectors », *Energy conversion and management*, vol. 47, n° 18-19, p. 3192-3203, 2006.
- [8] H. Zitouni *et al.*, « Experimental investigation of the soiling effect on the performance of monocrystalline photovoltaic systems », *Energy Procedia*, vol. 157, p. 1011-1021, janv. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.268.
- [9] M. Gostein, J. R. Caron, et B. Littmann, « Measuring soiling losses at utility-scale PV power plants », in *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, Denver, CO, USA, juin 2014, p. 0885-0890. doi: 10.1109/PVSC.2014.6925056.
- [10] M. Gostein, T. Duster, et C. Thuman, « Accurately measuring PV soiling losses with soiling station employing module power measurements », in *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, New Orleans, LA, juin 2015, p. 1-4. doi: 10.1109/PVSC.2015.7355993.
- [11] R. H. Tan, P. L. Tai, et V. Mok, « Solar irradiance estimation based on photovoltaic module short circuit current measurement », 2013, p. 1-4.
- [12] International Electrotechnical Commission, International Electrotechnical Commission, et Technical Committee 82, *Photovoltaic system performance. Part 1, Part 1*,. 2017.

## Description des dessins :

La figure 1 présente l'architecture du système GEP-PVSMS :

- 100 : Boîtier de mesure des courants de court-circuit des panneaux PV (shunt box) ;
- 101 : La cellule de référence pour la mesure de rayonnement solaire et la température de la cellule PV ;
- 102 : Le système d'acquisition et traitement des données, et pour la commande de shunt box ;
- 103 : Module photovoltaïque propre ;
- 104 : Module photovoltaïque encrassé ;
- 105 : Plateforme de monitoring et d'analyse des données.

La figure 2 présente les éléments de shunt box qui se compose de :

- 106 : Connecteurs MC4 pour les sorties positives des modules (propre et encrassé) ;
- 107 : Connecteurs MC4 pour les sorties négatives des modules (propre et encrassé) ;
- 108 : La sortie du câble du signal des données et de commande de shunt box ;
- 109 : Un bouton-poussoir ;
- 110 : Un bouton de commutation à 3 états ;
- 111 : Un radiateur en aluminium ;

La figure 3 montre les éléments internes du shunt box, qui se compose de :

- 112 : Le circuit de résistances shunt ;
- 113 : Les relais commandés ;

La figure 4 illustre un exemple des données des courants de court-circuit et des rayonnements solaires mesurés par GEP-PVSMS ;

La figure 5 illustre un exemple des données de rayonnement solaire mesuré par la cellule de référence et le rayonnement solaire utile calculé (en considérant l'effet de l'encrassement) ;

La figure 6 présente la courbe des valeurs moyennes journalières des données d'encrassement mesurées et traitées par le système GEP-PVSMS ;



## Revendications :

1. Un système de mesure et de traitement des données d'encrassement des centrales photovoltaïques en temps réel, et un outil d'aide à la décision configuré pour la planification de nettoyage optimale, comprenant :
  - Un module photovoltaïque propre 103 qui sert comme module de référence ;
  - Un module photovoltaïque encrassé 104, dans lequel le taux d'encrassement correspond au taux d'encrassement au niveau de l'installation photovoltaïque ;
  - Une cellule de référence 101 pour mesurer le rayonnement solaire et la température de la cellule photovoltaïque, où la température et le rayonnement mesurés correspondent à la température et au rayonnement reçus par le module PV lorsqu'il est monté sur le même plan.
  - Shunt box 100, se constitue de :
    - Un circuit de résistances shunt 112 de puissance et de très haute précision pour la mesure des courants de court-circuit des deux panneaux (propre 103 et encrassé 104). Ce circuit délivre un signal différentiel proportionnel au courant de court-circuit de chaque panneau, ce qui garantit la précision du signal et la protection contre le bruit.
    - Un bouton de commutation à 3 états 110 pour sélectionner la technologie des modules photovoltaïques connectés au système ou pour arrêter le système (afin de débrancher les panneaux PV sans risque).
    - Un bouton-poussoir 109 permettant d'envoyer un signal au système d'acquisition et de traitement des données 102 et de l'enregistrer dans le tableau de données lors d'une opération de maintenance ou de nettoyage manuel. Ce signal pourrait être utile lors de l'analyse et l'interprétation des données.
    - Des relais 113 commandés par le système d'acquisition et de traitement des données 102, permettant de maintenir les modules PV entre les mesures de courant de court-circuit, soit en état de court-circuit pendant quelques secondes pour effectuer les mesures puis en circuit ouvert dans le cas de modules en silicium cristallin (état C-Si), soit toujours en court-circuit dans le cas de modules à couche mince (état TF), afin de minimiser la dégradation des modules PV selon la technologie choisie par l'homme du métier à travers le bouton de commutation 110. Ces relais peuvent

également être maintenus toujours en circuit ouvert en cas de déconnexion des modules PV sans risque de causer la dégradation des connecteurs par une coupure brutale d'un courant fort (état OFF).

- Un radiateur en aluminium 111 pour dissiper la chaleur générée par le circuit de mesure à l'intérieur du shunt box 100 vers l'extérieur.
  - Connecteurs MC4 106 pour les sorties positives des modules (propre 103 et encrassé 104).
  - Connecteurs MC4 107 pour les sorties négatives des modules (propre 103 et encrassé 104).
  - La sortie du câble du signal des données mesurées et pour la commande des relais 108.
- Un système d'acquisition et de traitement des données 102 préprogrammé pour :
    - Commander les relais 113 en fonction du choix de la technologie photovoltaïque effectuée par l'homme du métier (soit en circuit ouvert pour le cas de la technologie en silicium cristallin (état C-Si), ou toujours en court-circuit dans le cas de la technologie à couche mince (état TF)), ou bien pour arrêter le fonctionnement du système (état OFF).
    - Convertir les signaux transmis par le shunt box et la cellule de référence en données mesurées (les courants de court-circuit, le signal du bouton-poussoir, le signal du bouton de commutation, le rayonnement solaire) à l'aide du convertisseur analogique-numérique (ADC) de très haute résolution.
    - Traiter les données mesurées et les stocker dans la mémoire interne du système d'acquisition et de traitement des données 102, puis les transmettre à la plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 par la voie de communication disponible (Ethernet, Modbus, modem cellulaire...). Toutes ces étapes sont exécutées dans un intervalle de temps très court.
2. Une méthode dédiée pour quantifier l'impact de l'encrassement sur les performances des centrales photovoltaïques tel que le module de référence 103 doit être maintenu propre en le nettoyant régulièrement, que ce soit manuellement ou automatiquement. Tandis que le second module encrassé 104 ne doit être soumis qu'aux opérations de nettoyage effectuées sur le système photovoltaïque.

Cette méthode consiste à mesurer les courants de court-circuit du module propre 103 et du module sale 104 à l'aide d'un circuit de résistances shunt 112 configuré de telle sorte que chaque panneau est court-circuité à l'aide d'une résistance shunt (une résistance à très faible valeur), le courant de court-circuit est ensuite déterminé à l'aide de la loi d'Ohm. Le courant de court-circuit a été choisi comme paramètre pour quantifier l'encrassement car il est fortement corrélé avec le rayonnement qui atteint les cellules des modules PV et il peut être facilement mesuré. Le rayonnement solaire et la température de la cellule PV sont mesurés grâce à une cellule de référence 101.

Pour effectuer les mesures des courants de court-circuit, l'homme du métier doit d'abord choisir la technologie des modules photovoltaïques branchés avec le système à l'aide d'un bouton de commutation 110. Dans le cas des modules en silicium cristallin (état C-Si), les deux panneaux sont court-circuités pour une courte durée à l'aide des relais 113 commandés pendant chaque minute pour effectuer les mesures, alors que pour les modules à couche mince (état TF), les deux panneaux sont maintenus en court-circuit pour minimiser la dégradation des panneaux. Ces relais 113 peuvent également être maintenus toujours en circuit ouvert en cas de déconnexion des modules PV pour éviter de la dégradation des connecteurs par la coupure brutale d'un courant fort (état OFF).

3. Une méthode d'aide d'analyse et interprétations de données moyennant, un bouton-poussoir 109 intégré dans le shunt box 100. Ce bouton poussoir est activé par l'homme du métier lors de son intervention de nettoyage (une impulsion pour le nettoyage du panneau de référence 103, deux impulsions pour le nettoyage des deux panneaux 103 et 104) et de maintenance (trois impulsions) dans le système. Ce qui permet d'enregistrer dans le tableau de données un signal qui signifie que les interventions de nettoyage ou de maintenance se sont déroulées (tel qu'il est illustré dans la figure 6).
4. Une méthode, selon les revendications 2 et 3 où les signaux transmis par le shunt box 100 (les courants de court-circuit, le signal du bouton-poussoir, le signal du bouton de commutation 110) et la cellule de référence 101 (le rayonnement solaire et la température de la cellule PV) sont transmises sous forme des tensions au système d'acquisition et de traitement des données 102. Ces signaux sont convertis à des valeurs numériques grâce au convertisseur analogique numérique du système d'acquisition et de traitement des données 102. Le système d'acquisition et de traitement des données 102 est configuré pour effectuer plusieurs mesures par minute à haute fréquence et pour

faire la moyenne de ces mesures et enregistrer le résultat, afin de réduire l'effet des mesures erronées dues à la possible perturbation instantanée des signaux ou lorsqu'une personne, un objet ou des nuages passent devant l'un des panneaux en créant un ombrage partiel.

5. Une méthode, implémentée dans le système d'acquisition et de traitement des données 102, et selon les revendications 2, 3 et 4 où la perte due à l'encrassement (Soiling Loss SL) est calculée instantanément suite à l'équation (1) :

$$SL(\%) = \left( 1 - \frac{I_{cc}(\text{Encrassé})}{I_{cc}(\text{Propre})} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Où  $SL$  représente le pourcentage des rayonnements solaires perdu en raison de l'encrassement.  $I_{cc}(\text{Propre})$  désigne le courant de court-circuit du panneau propre 103,  $I_{cc}(\text{Encrassé})$  désigne le courant de court-circuit du panneau encrassé 104.

6. Une méthode, selon les revendications 2, 3, 4 et 5, où le taux d'encrassement calculé et les autres paramètres mesurés sont enregistrés dans la mémoire de réserve interne du système d'acquisition et de traitement des données 102 sous une forme des séries temporelles et sont également transmis via la voie de communication disponible (Ethernet, Modbus, Modem cellulaire...) vers la plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 où l'homme du métier a la possibilité de visualiser les données mesurées et calculées en temps réel. Un outil logiciel spécialisé dans l'analyse des données d'encrassement a été développé et intégré dans la plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 pour analyser les mesures brutes reçues.
7. Une méthode, selon la revendication 7 et 8 où l'outil logiciel spécialisé dans l'analyse des données d'encrassement a été configuré pour calculer la valeur journalière de la perte due à l'encrassement ( $SL_d$ ) à la fin de chaque journée. Cet outil logiciel calcule la moyenne et l'écart-type de tous les points mesurés pendant toute la journée (pour tenir compte de l'effet de l'angle d'incidence solaire sur les pertes d'encrassement), puis les mesures qui ne se situent pas entre la moyenne  $\pm$  l'écart-type sont exclues. Les mesures prises pendant un faible rayonnement sont également exclues, afin d'éviter la fluctuation des données due au changement rapide de rayonnement reçu par les panneaux en raison

du passage de nuages ou d'objets. La valeur journalière de la perte due à l'encrassement ( $SL_d$ ) est calculée sur la base des points restants, en utilisant l'équation 2 :

$$SL_d(\%) = \frac{\sum SL}{N} \quad (2)$$

Où  $SL_d$  représente la moyenne journalière du pourcentage des rayonnements solaires perdu en raison de l'encrassement.  $SL$  est la perte due à l'encrassement mesuré à la minute  $N$  est le nombre de mesures sélectionnées.

8. Une méthode, selon la revendication 7, 8 et 9, où l'outil logiciel spécialisé dans l'analyse des données d'encrassement a été configuré afin de générer automatiquement des rapports journaliers sous forme d'un fichier Excel pour la meilleure planification des scénarios de nettoyage. Le rapport généré inclut les informations suivantes :
  - Les tableaux et les courbes des données mesurées à la minute (les courants de court-circuit, le rayonnement solaire, la température de la cellule PV et le signal des interventions de maintenance et du nettoyage manuel) ;
  - La valeur journalière de la perte due à l'encrassement ( $SL_d$ ).
  - Le rayonnement solaire utile (en considérant l'effet de l'encrassement) calculé à partir de la valeur journalière de la perte d'encrassement et du rayonnement solaire mesuré par la cellule de référence 101, comme illustré dans la figure 5.
  - L'estimation de la perte de puissance (calculé à partir du rayonnement solaire et de la température de la cellule PV) par la comparaison de la production d'énergie dans le cas du rayonnement mesuré par la cellule de référence 101 (le cas d'une installation photovoltaïque propre) et du rayonnement calculé en considérant la perte due à l'encrassement (le cas d'une installation photovoltaïque encrassé).
  - Une décision sur le nettoyage : si le coût cumulé de l'énergie électrique perdue depuis le dernier nettoyage dépasse le coût du nettoyage du système PV, et si la fonctionnalité intégrée des prévisions météorologiques satellitaires ne prévoit aucun événement pluvieux dans les prochains jours, une indication d'alerte s'affiche dans le rapport pour informer l'homme du métier photovoltaïque qu'un nettoyage doit être effectué.
  
9. Une méthode, selon les revendications 7, 8, 9 et 10, où la plateforme de monitoring et d'analyse des données 105 peut également exporter les tableaux et les courbes des

données mesurées sous forme d'un fichier Excel en choisissant la période souhaitée, ou les envoyer par Email en programmant le cycle d'envoi (quotidien, hebdomadaire, mensuel).

10. Un appareil selon la revendication 1 qui permet à l'homme du métier de sélectionner des modules PV semblables à ceux du système photovoltaïque, ce qui assure que l'encrassement mesuré par le système représente correctement l'encrassement du système photovoltaïque en question. Le dimensionnement du circuit de mesure du courant de court-circuit est conçu de manière à ce qu'il puisse fonctionner même avec les nouvelles technologies de panneaux photovoltaïques à courant élevé.

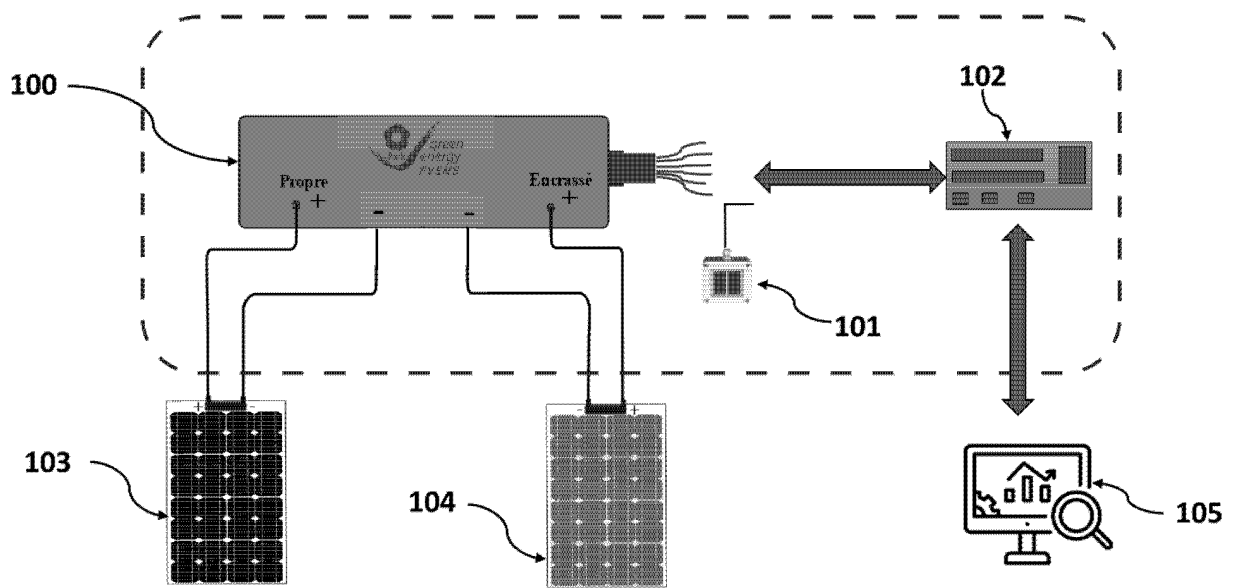


Figure 1.

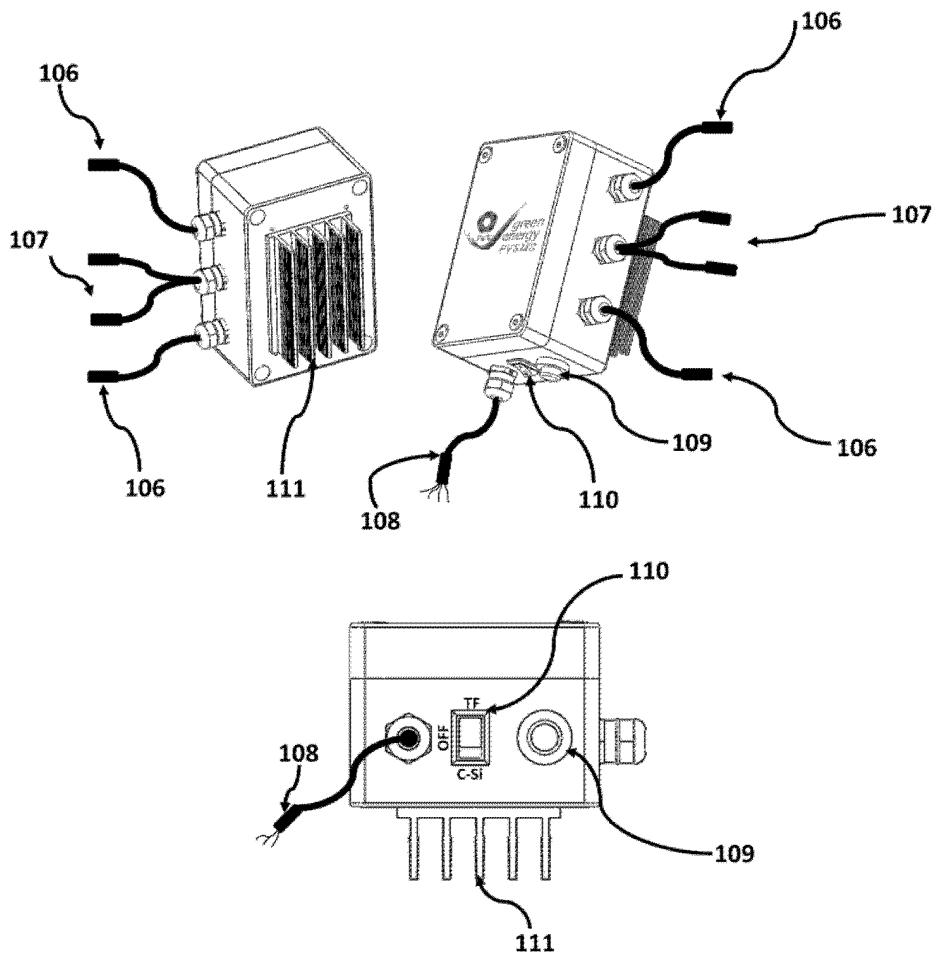


Figure 2.

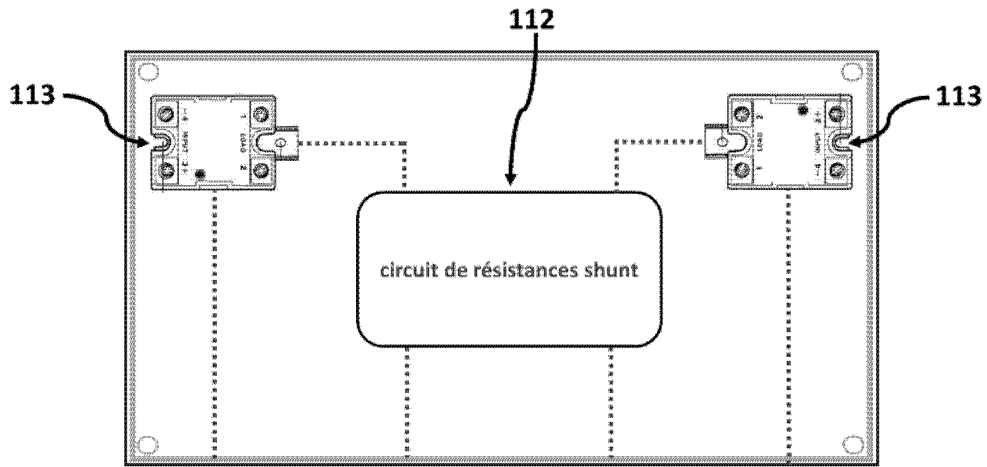


Figure 3.

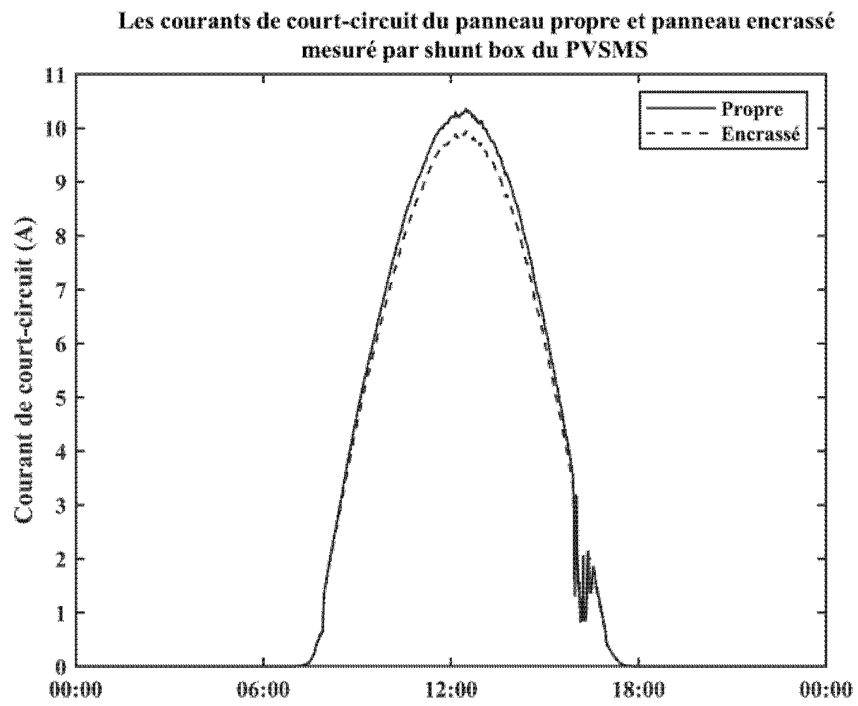


Figure 4.



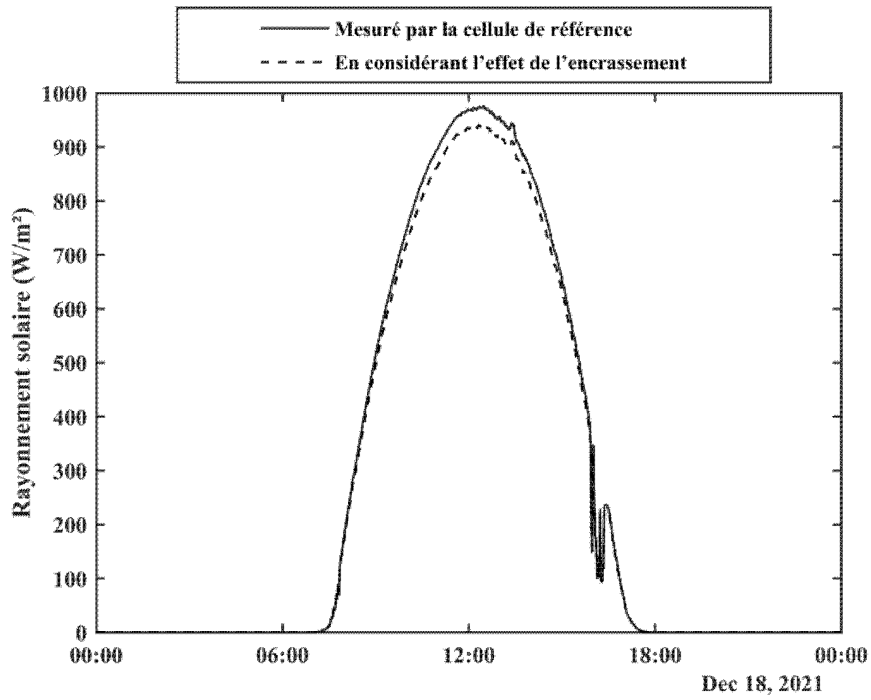


Figure 5.

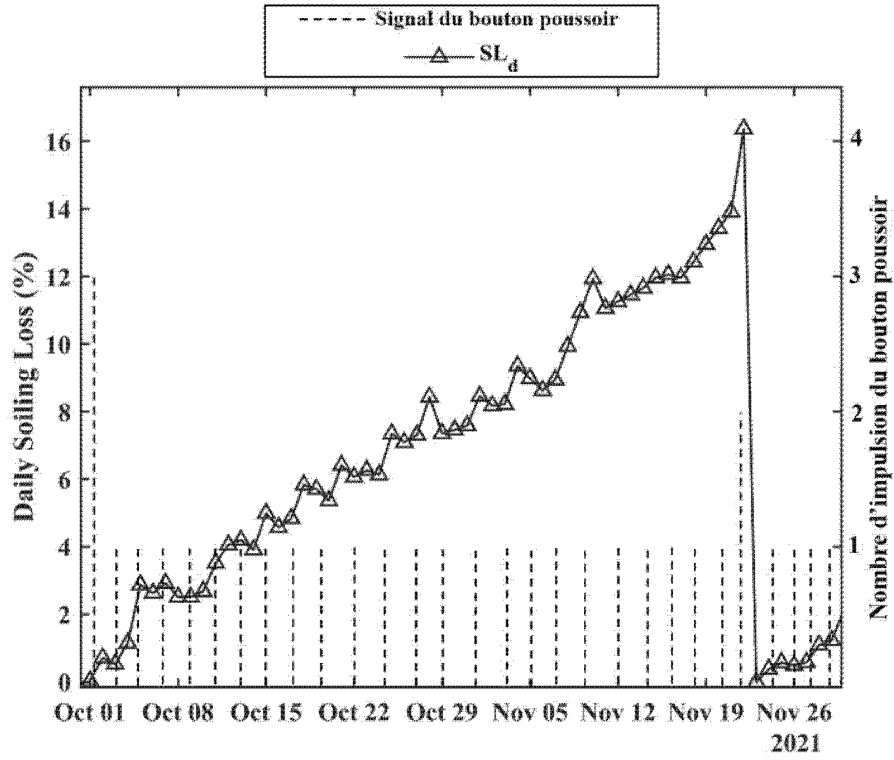
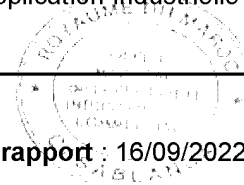


Figure 6.

**RAPPORT DE RECHERCHE  
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**  
(Conformément aux articles 43 et 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)

|   |  |
|---|--|
| <b>Renseignements relatifs à la demande</b>   |  |
| N° de la demande : 56600  | Date de dépôt : 25/04/2022                   |
| Déposant : Green Energy Park  |  |
| Intitulé de l'invention : GEP-PVSMS : Système de mesure, quantification et de traitement des données d'encrassement des centrales photovoltaïques en temps réel.  |  |
| Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. |  |
| Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site <a href="http://worldwide.espacenet.com">http://worldwide.espacenet.com</a> , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.  |  |
| 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   |  |
| <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés  |  |
| Partie 2 : Rapport de recherche   |  |
| Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité   |  |
| <input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté  |  |
| <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 : 16/09/2022 |
| Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00   |  |



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

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

- Description  
7 Pages
- Revendications  
1-10
- Planches de dessin  
3 Pages

**Partie 2 : Rapport de recherche**

Classement de l'objet de la demande :

CIB : H 02S 50/00; F 24S 40/10

CPC : F 24J 2/40; H 02S 50/10

Plateformes et bases de données électroniques de recherche :

EPOQUENET, WPI, ScienceDirect, IEEE, ORBIT

| Catégorie* | Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | N° des revendications visées |
|------------|--|------------------------------|
| A          | US10243514B2; JONES RYAN BOWER [US]; 26-03-2019                            | 1-10                         |
| A          | MA43502A1 ; IRESEN [MA] ; 30-04-2020                                       | 1-10                         |
| A          | CN114066085A; HUANENG RENEWABLES CORP LTD et al.; 18-02-2022               | 1-10                         |

**\*Catégories spéciales de documents cités :**

-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément  
-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier  
-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent  
-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs  
-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

**Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité****Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

|                          |  |            |
|--------------------------|--|------------|
| Nouveauté                | Revendications 1-10<br>Revendications aucune | Oui<br>Non |
| Activité inventive       | Revendications 1-10<br>Revendications aucune | Oui<br>Non |
| Application Industrielle | Revendications 1-10<br>Revendications aucune | Oui<br>Non |

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : US10243514B2

**1. Nouveauté**

Aucun document de l'état de la technique ne divulgue un système de mesure et de traitement des données d'encrassement des centrales photovoltaïques en temps réel, et d'aide à la décision configuré pour la planification de nettoyage optimale, conformément à la partie caractérisante de la revendication 1 de la présente demande.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 est considéré comme nouveau au sens de l'article 26 de de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

L'objet de la revendication de méthode 2 est aussi considéré comme nouveau.

Par conséquent, l'objet des revendications dépendantes 3-10 est également considéré comme nouveau.

**2. Activité inventive**

Le document D1 considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1 divulgue un système de mesure et de traitement des données d'encrassement des centrales photovoltaïques en temps réel, et d'aide à la décision configuré pour la planification de nettoyage optimale, comprenant :

- Un module photovoltaïque propre qui sert comme module de référence ;
- Un module photovoltaïque encrassé, dans lequel le taux d'encrassement correspond au taux d'encrassement au niveau de l'installation photovoltaïque ;
- Une cellule de référence pour mesurer le rayonnement solaire et la température de la cellule photovoltaïque ;
- Un système d'acquisition et de traitement des données.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de ce système connu en ce que système d'acquisition et de traitement des données est configuré pour :

- Commander les relais en fonction du choix de la technologie photovoltaïque ;

- Convertir les signaux transmis par le shunt box et la cellule de référence en données mesurées (les courants de court-circuit, le signal du bouton poussoir, le signal du bouton de commutation, le rayonnement solaire) à l'aide du convertisseur analogique-numérique (ADC) ;
- Traiter les données mesurées et les stocker dans la mémoire interne du système d'acquisition et de traitement des données, puis les transmettre à plateforme de monitoring et d'analyse des données.

Le problème technique objectif que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme fournir un système de mesure et de traitement des données d'encrassement capable de s'adapter à différentes technologies photovoltaïques.

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 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.

L'objet de la revendication de méthode 2 est aussi 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 2-10 implique également 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.