

## (12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 42209 A1** (51) Cl. internationale : **H02S 50/10**

(43) Date de publication :  
**29.11.2019**

---

(21) N° Dépôt :  
**42209**

(22) Date de Dépôt :  
**02.04.2018**

(71) Demandeur(s) :  
**UNIVERSITE CHOUAIB DOKKALI, BV JABRANE KHALIL JABRANE BP 299 MAROC (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**BENHMIDA MOHAMMADI ; HOUSSAM AMIRY ; RACHID BENDAOU ; CHARAF HAJJAJ ; SAID BOUNOUAR ; SAID YADIR ; ABDELHAK EL RHASSOULI ; KHALID RAIS ; MOUNCIF SIDKI ; SMAIL SAHNOUN**

(74) Mandataire :  
**SAHABI MOHAMED**

---

(54) Titre : **REALISATION D'UN TRACEUR DE CARACTERISTIQUES COURANT TENSION DE CAPTEURS SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES DANS LES CONDITIONS REELLES DE LEUR FONCTIONNEMENT**

(57) Abrégé : La puissance crête d'un capteur photovoltaïque (PV) (cellule, module ou panneau photovoltaïque) est donnée par le constructeur dans les conditions dites de test standard (STC). Or, le productible énergétique d'un capteur PV au Maroc, par exemple, est largement supérieur à celui que l'on peut enregistrer en Allemagne. Il est donc tout à fait recommandé de caractériser la puissance réelle de tels capteurs solaires dans les conditions réelles de leur fonctionnement. En effet, au cours du temps, le long d'une journée, les variations de l'intensité du rayonnement solaire, de la température ambiante, de la vitesse du vent ... etc, peuvent être plus ou moins rapides et importantes. Or, la caractérisation des propriétés de ces capteurs nécessite le prélèvement de mesures de courant (I) et de tension (V) délivrés pour des valeurs constantes de ces facteurs environnementaux. De ce fait, il est nécessaire de disposer d'un dispositif de mesure capable de caractériser ces propriétés dans une durée de temps suffisamment courte pour que l'on puisse accéder à la connaissance de leurs paramètres internes et étudier leurs évolutions en fonction de ces facteurs changeant. C'est dans cet objectif que nous avons oeuvré à réaliser un circuit électronique commandé par un microcontrôleur capable d'enregistrer la caractéristique électrique (I-V) d'un capteur PV avec une résolution de l'ordre d'une milliseconde par point (I, V) prélevé. La fiabilité du

Le système implémenté a été vérifié par l'analyse des résultats expérimentaux obtenus et leur comparaison à ceux de la littérature scientifique dans le domaine.

## Réalisation d'un traceur de caractéristiques courant-tension de capteurs solaires photovoltaïques dans les conditions réelles de leur fonctionnement.

### Abrégé :

La puissance crête d'un capteur photovoltaïque (PV) (cellule, module ou panneau photovoltaïque) est donnée par le constructeur dans les conditions dites de test standard (STC). Or, le productible énergétique d'un capteur PV au Maroc, par exemple, est largement supérieur à celui que l'on peut enregistrer en Allemagne. Il est donc tout à fait recommandé de caractériser la puissance réelle de tels capteurs solaires dans les conditions réelles de leur fonctionnement. En effet, au cours du temps, le long d'une journée, les variations de l'intensité du rayonnement solaire, de la température ambiante, de la vitesse du vent... etc, peuvent être plus ou moins rapides et importantes. Or, la caractérisation des propriétés de ces capteurs nécessite le prélèvement de mesures de courant (I) et de tension (V) délivrés pour des valeurs constantes de ces facteurs environnementaux. De ce fait, il est nécessaire de disposer d'un dispositif de mesure capable de caractériser ces propriétés dans une durée de temps suffisamment courte pour que l'on puisse accéder à la connaissance de leurs paramètres internes et étudier leurs évolutions en fonction de ces facteurs changeant. C'est dans cet objectif que nous avons œuvré à réaliser un circuit électronique commandé par un microcontrôleur capable d'enregistrer la caractéristique électrique (I-V) d'un capteur PV avec une résolution de l'ordre d'une milliseconde par point (I, V) prélevé. La fiabilité du système implémenté a été vérifiée par l'analyse des résultats expérimentaux obtenus et leur comparaison à ceux de la littérature scientifique dans le domaine.

**Description :****Réalisation d'un traceur de caractéristiques courant-tension de capteurs solaires photovoltaïques dans les conditions réelles de leur fonctionnement.**

Les caractéristiques des capteurs solaires photovoltaïques (PV) fournies par les fabricants sont habituellement mesurées dans les conditions dites standard (STC) et avec des sources de lumières artificielles. De ce fait, ces caractéristiques ne sont qu'indicatives et ne sont pas suffisantes pour déterminer performances de ces capteurs dans les conditions réelles de leur fonctionnement. Les caractéristiques spectrales des sources simulate-Soleil utilisées à cet effet par les fabricants ne sont pas assimilables du moins de point de vue spectral à celles du rayonnement solaire que l'on peut mesurer localement. Le prélèvement d'une caractéristique courant-tension (I-V) dans les conditions réelles de fonctionnement du capteur nécessite la prise en compte des fluctuations plus ou moins prononcées et rapides des conditions climatiques. Pour s'affranchir de façon acceptable des effets de fluctuations des irradiances solaires et de la température du capteur, ainsi que des variations des autres facteurs environnementaux sur une caractéristique I-V, l'utilisation d'un dispositif électronique adapté s'avère nécessaire. Des solutions ont été proposées pour balayer toute la caractéristique I-V d'un capteur PV en faisant varier la résistance de charge extérieure de manière automatique à l'aide d'un dispositif électronique. Ces solutions intègrent des composants capacitifs, ou inductifs ou des transistors de différents types. Ces solutions présentent plus ou moins d'inconvénients et se distinguent par des durées relativement longues pour l'acquisition d'une caractéristique (I-V), d'un balayage incomplet de la caractéristique, ainsi que par des fluctuations plus ou moins prononcées entachant les mesures expérimentales collectées.

Pour remédier aux inconvénients mentionnés précédemment, nous avons développé une technique fiable pour prélever suffisamment de points d'une caractéristique (I-V) d'un capteur PV dans une durée de temps très courte, et ce en élaborant un circuit électronique que l'on peut programmer pour commander les variations de la résistance de charge extérieure, effectuée lors de l'acquisition d'une caractéristique (I-V). Ce circuit est constitué d'un jeu de résistances et de MOSFET IRF540N commandés par un microcontrôleur. Le circuit est constitué de plusieurs blocs ayant la même structure mais de valeurs de résistances différentes (figure 1). Le microcontrôleur permet d'activer simultanément un ou plusieurs transistors pour réaliser différentes configurations d'associations des résistances. La résistance de charge

est équivalente à celle résultante de l'association de l'ensemble des résistances des branches activées.

Le circuit électronique réalisé au sein de notre laboratoire est constitué des éléments suivants : des résistances de puissance, des transistors IRF540N, une carte Arduino Mega2560, et des capteurs de courant, de tension, et de température.

- **Résistances** : Le jeu de résistances utilisées varie en fonction de la puissance crête du capteur solaire PV étudié.
- **Transistors IRF540N** : après une étude comparative entre plusieurs types de transistors nous avons choisi les transistors IRF540N qui sont utilisés pour basculer entre les différents blocs de résistances, et ce afin de pouvoir faire varier la résistance de charge d'une manière automatique. Le choix de transistor IRF540N se justifie par le fait que :
  - la carte Arduino Mega2560 peut générer des tensions de 5V qui sont suffisantes pour commander ce type de transistors.
  - la valeur de la résistance aux bornes Drain-Source ( $R_{ds}$ ) est relativement faible, et d'environ  $44\text{m}\Omega$ .
- **Capteurs** : 1 capteur de courant INA219 avec une résolution de  $0.1\text{mA}$  ; 1 capteur de tension avec une résolution de  $4.89\text{mV}$  ; 1 capteur de température (Thermocouple type K) avec une résolution de  $0.15^\circ\text{C}$ .
- **Carte Arduino Mega2560** : Elle est basée sur le microcontrôleur ATMEGA2560. Le choix de cette carte se justifie par sa grande vitesse de transmission des données et le nombre d'entrées numériques et analogiques disponibles.
- **Programme informatique** : le programme édité est destiné à la commande des MOSFET IRF540N afin de basculer et faire les combinaisons convenables des résistances pour commander les variations de la résistance de charge. Le programme utilise une application Java libre et multi-plateformes pour éditer, compiler et transférer les codes au travers d'une liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). La programmation basée sur le langage C++ et liée à la bibliothèque de développement Arduino permet l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La carte permet de prélever une caractéristique I-V dans une durée de temps acceptable et transférer les résultats expérimentaux à la mémoire d'un ordinateur.

Le circuit réalisé (figure 3) permet de balayer toute la caractéristique I-V dans une durée de temps tout à fait acceptable, en prélevant chaque point (I,V) de la caractéristique en une milliseconde.

Figure 1

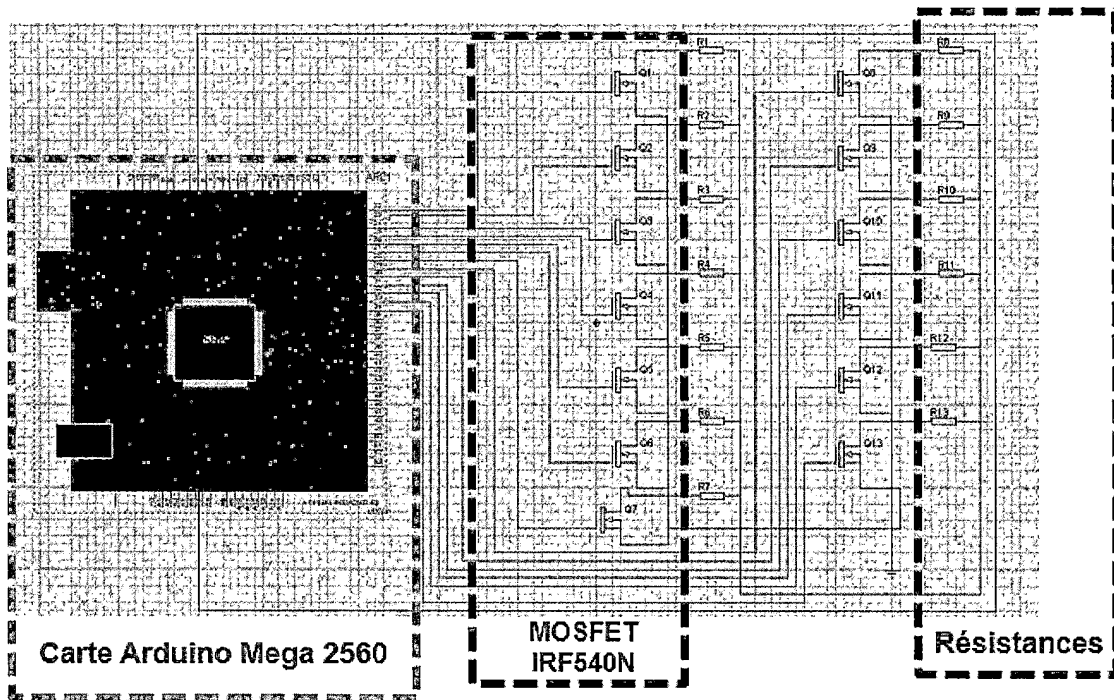


Figure 2

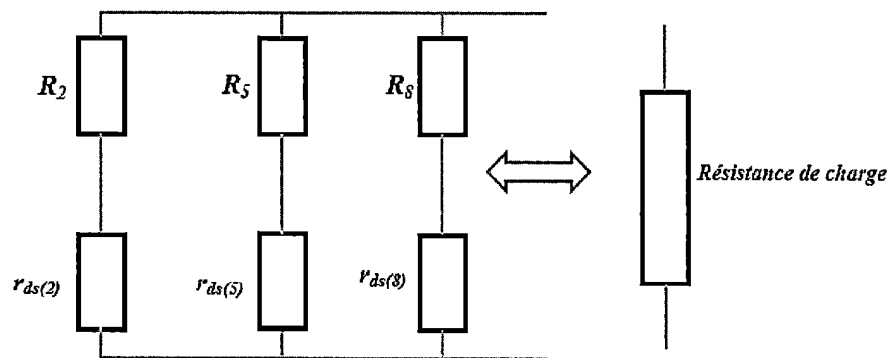
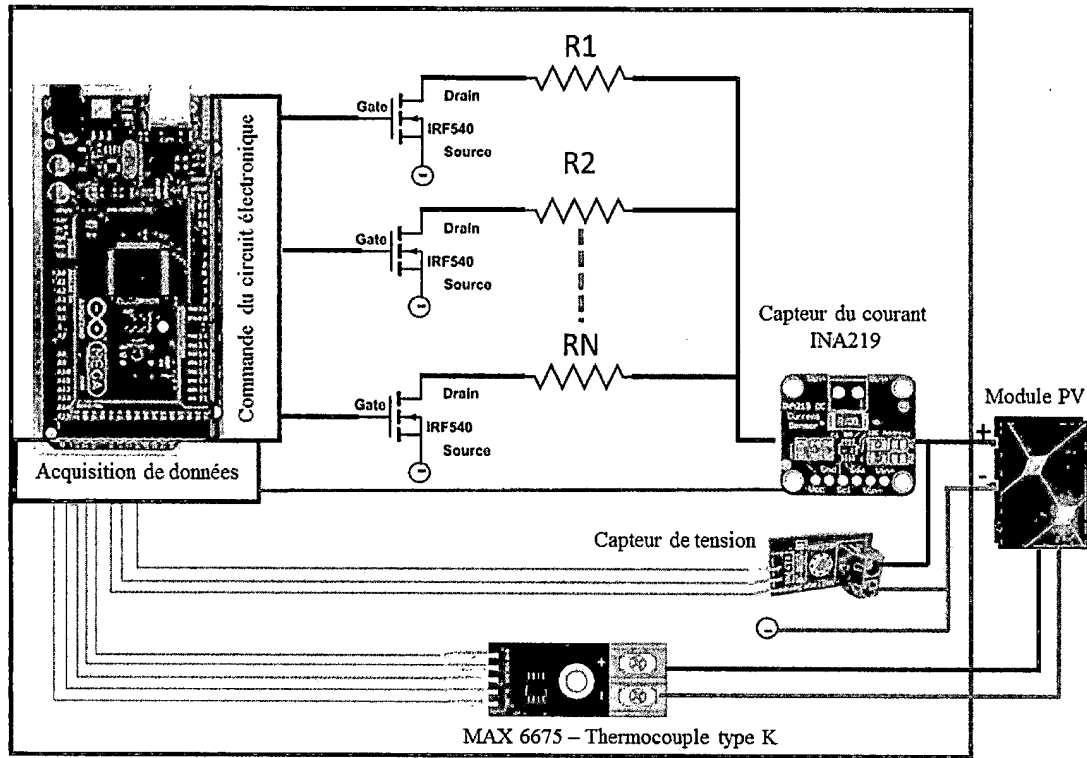


Figure 3



<b>Partie 1 : Considérations générales</b>		
<i>Cadre 1 : base du présent rapport</i>		
Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Description</u> 3 Pages</li> <li>• <u>Revendications</u> 1-8</li> <li>• <u>Planches de dessin</u> 2 Pages</li> </ul>		
<b>Partie 2 : Rapport de recherche</b>		
<b>Classement de l'objet de la demande :</b>		
CIB : H 02S 50/10 ; G01R31/2603		
Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :		
EPOQUE, Orbit		
Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
Y	E.E.van Dyk et al. ; Renewable Energy Volume 30, Issue 3, Pages 399-411 ; 03/2005	1-8
Y	E. Durán et al. ; 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, DOI: 10.1109/PVSC.2008.4922578; 05/2008	1-8
A	H.Amiry et al. ; Energy Conversion and Management Volume 169, Pages 206-216; 01/08/2018	1-8
<b>*Catégories spéciales de documents cités :</b>		
<p>-« 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</p> <p>-« 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</p> <p>-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>-« 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</p> <p>-« 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</p>		



**Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité***Cadre 4 : Remarques de Clarté*

Les revendications 5-8 ne satisfont pas aux exigences de l'article 35 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 car l'objet de la protection demandée n'est pas défini, les revendications tentent de définir l'objet par le résultat recherché. Cette formulation n'est pas acceptable en l'espèce, puisqu'il semble possible de définir l'objet en des termes plus concrets, c'est-à-dire en exposant comment l'effet peut être obtenu.

*Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle*

Nouveauté (N)	Revendications 1-8 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications aucune Revendications 1-8	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-8 Revendications aucune	Oui 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 : Renewable Energy Volume 30, Issue 3, Pages 399-411

**1. Nouveauté (N) :**

Aucun document de l'état de la technique considéré ne divulgue un traceur de caractéristique électrique I-V d'un capteur solaire photovoltaïque basé sur la variation automatique et programmée de la résistance de charge extérieure 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 2-8 est également nouveau.

**2. Activité inventive (AI) :**

Le document D1 (description, figure 1) considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication indépendante 1 décrit un traceur de caractéristique électrique I-V d'un capteur solaire photovoltaïque basé sur la variation automatique et programmée de la résistance de charge extérieure constitué d'un circuit électronique composé de plusieurs branches dont chacune est constituée d'un commutateur ( $S'_1-S'_n$ ) relié en série avec une résistance de puissance ( $R_1-R_n$ ), l'ensemble est commandé par un système d'acquisition de donnée relié à un ordinateur.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de ce dispositif connu en ce qu'il utilise des

MOSFETs comme commutateurs et une carte Arduino comme système de control.

Le problème technique objectif que la présente demande tente de résoudre peut donc être considéré comme fournir des composants alternatifs afin de réaliser le schéma connu du traceur.

La solution proposée à ce problème ne peut pas être considérée comme inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13. L'utilisation de MOSFETs comme commutateurs de puissance a déjà été introduite dans le même but dans un dispositif analogue (cf. D2 [partie C. colonne de droite]). Il serait donc évident pour l'homme du métier d'appliquer cette caractéristique, avec un effet correspondant, dans un traceur suivant D1, afin d'obtenir un traceur de caractéristique électrique I-V d'un capteur solaire photovoltaïque conformément à la revendication 1. Par ailleurs, l'emploi d'une carte Arduino pour le contrôle du circuit ne représente que l'une des options que l'homme du métier sélectionnerait, selon le cas, parmi plusieurs possibilités évidentes, afin de résoudre le problème posé, sans faire preuve d'esprit inventif.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 n'implique pas d'activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications dépendantes 2-8 ne contiennent pas de caractéristiques techniques supplémentaires qui satisfont aux exigences de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13 en matière d'activité inventive en étant combinées aux caractéristiques de l'une quelconque des revendications auxquelles lesdites revendications dépendantes sont liées.

### **3. Possibilité d'application industrielle (PAI) :**

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.

**Revendications :**

1. L'invention concerne un traceur de caractéristique électrique I-V d'un capteur solaire photovoltaïque basé sur la variation automatique et programmée de la résistance de charge extérieure, constitué d'un circuit électronique composé de plusieurs branches dont chacune est constituée d'un MOSFET IRF540N relié en série avec une résistance de puissance ; l'ensemble est commandé par une carte Arduino Mega2560.
2. Le traceur de la caractéristique I-V selon la revendication 1, est caractérisé en ce que : chaque branche contient une résistance de puissance soudée au drain d'un MOSFET IRF540N ; la valeur 1 (5V) ou 0 (0V) est affectée à la sortie numérique de la carte Arduino Mega2560, reliée à la grille de chaque MOSFET, pour l'activer ou le désactiver.
3. Le traceur de la caractéristique I-V selon la revendication 1, est caractérisé en ce que : la commande se fait à l'aide d'un programme Arduino édité sur un ordinateur.
4. Le traceur de la caractéristique I-V selon la revendication 1, est caractérisé en ce que : la carte Arduino Mega 2560 permet d'activer simultanément un ou plusieurs MOSFET IRF540N et de réaliser différentes configurations d'associations des résistances ; la résistance de charge est équivalente aux résistances constituant les branches activées.
5. Le traceur de la caractéristique I-V selon la revendication 1, est caractérisé en ce que : le temps de réponse du MOSFET IRF540N est d'environ 130ns et la vitesse d'horloge du microcontrôleur ATMega 2560 est d'environ 16 Mhz ; ce qui permet de basculer entre les branches dans un temps suffisamment court.
6. Le traceur de la caractéristique I-V selon la revendication 1, est caractérisé en ce que : les résistances de puissance utilisées ont une bonne précision ( $\leq 0.1\%$ ) et un jeu de valeurs permettant de couvrir intégralement la caractéristique I-V du capteur solaire.
7. Le traceur de la caractéristique I-V selon la revendication 1, est caractérisé en ce que : les capteurs de courant et de tension utilisés sont compatibles avec la carte Arduino et permettent de prélever des mesures avec une bonne résolution dans une durée de temps très courte.
8. Le traceur de la caractéristique I-V selon la revendication 1, est caractérisé en ce que : le prélèvement de la caractéristique I-V peut être effectué avec une résolution d'une milliseconde par couple de points (I,V) prélevé.

**FIGURES :**

**Figure 1.** Schéma synoptique représentant les branches du circuit électronique réalisé pour faire varier la résistance de charge automatiquement.

**Figure 2.** Exemple de résistance de charge dans le cas d'activation de 3 branches : la résistance équivalente dans le cas d'activation de trois branches par la polarisation des MOSFET IRF540N 2,5 et 8, est donnée par :

$$\frac{1}{R_C} = \frac{1}{R_2 + r_{ds(2)}} + \frac{1}{R_5 + r_{ds(5)}} + \frac{1}{R_8 + r_{ds(8)}}$$

Où  $R_C, R_i$  et  $r_{ds(i)}$  sont respectivement, la résistance de charge, la résistance activée et la résistance entre le drain et la source du transistor polarisé de la branche  $i$ .

**Figure 3.** Topologie générale de conception du circuit électronique. Le changement de la résistance de charge extérieure est commandé par un programme informatique domicilié dans la mémoire de la carte Arduino.



**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 : 42209	Date de dépôt : 02/04/2018
Déposant : UNIVERSITE CHOUAIB DOKKALI	
Intitulé de l'invention : REALISATION D'UN TRACEUR DE CARACTERISTIQUES COURANT TENSION DE CAPTEURS SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES DANS LES CONDITIONS REELLES DE LEUR FONCTIONNEMENT	
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 checked="" type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée <input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention	
Examineur: M. EL KINANI	Date d'établissement du rapport : 24/12/2018
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	

