



**HAL**  
open science

## Travaux Pratiques de caractérisation de panneaux photovoltaïques

Bertrand Gélis, Vincent Creuze, Christian Glaize, Franck Lecat, Vincent Thomas

► **To cite this version:**

Bertrand Gélis, Vincent Creuze, Christian Glaize, Franck Lecat, Vincent Thomas. Travaux Pratiques de caractérisation de panneaux photovoltaïques. CETSIS: Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes, Mar 2013, Caen, France. pp.001-006. lirmm-00830880

**HAL Id: lirmm-00830880**

**<https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00830880>**

Submitted on 5 Jun 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Travaux Pratiques de caractérisation de panneaux photovoltaïques

Bertrand Gélis<sup>1</sup>, Vincent Creuze<sup>1</sup>, Christian Glaize<sup>2</sup>, Franck Lecat<sup>2</sup>

bertrand.gelis@univ-montp2.fr, vincent.creuze@lirimm.fr, glaize@univ-montp2.fr, lecat@iut-nimes.fr

<sup>1</sup>IUT de Montpellier, Département GEII, 99 avenue d'Occitanie, 34296 Montpellier.

<sup>2</sup>IUT de Nîmes, Département GEII, 8 rue Jules Raimu, 30907 Nîmes Cedex 2.

**RÉSUMÉ :** Dans cet article, nous présentons une séance de travaux pratiques de caractérisation d'un panneau photovoltaïque réalisée en deuxième année d'IUT GEII (Génie Électrique et Informatique Industrielle) et en Licences Professionnelles Gestion et Utilisation des Énergies Renouvelables (GUER), Maîtriser et Intégrer les Énergies (MIE) et Chargé d'Affaire en Ingénierie Électrique et Électronique (CAIEE). Nous décrivons également les deux maquettes réalisées par les départements GEII des IUT de Nîmes et de Montpellier. Ces maquettes de conception économiques permettent aux étudiants non seulement de tracer les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un panneau, mais aussi d'étudier l'influence de l'éclairement et de la température sur la production énergétique. Le bilan auprès des étudiants est très positif, tant au niveau de la simplicité d'utilisation que de l'illustration concrète du cours.

**Mots clés :** panneaux photovoltaïques, caractérisation, travaux pratiques.

## 1 INTRODUCTION

Depuis plus d'une décennie, la formation aux énergies renouvelables s'est considérablement développée (Lycées, STS, IUT, Licences Pro, Master, écoles d'ingénieurs). Parmi les thèmes étudiés, la production d'électricité par panneaux photovoltaïques tient une place importante à la fois par sa relative simplicité de mise en œuvre et par son fort impact sociétal [1][2][3][4].

## 2 MAQUETTES

Avant que ne soient commercialisées des maquettes (voir annexe), l'IUT de Nîmes avait déjà créé plusieurs dispositifs pour illustrer l'enseignement en photovoltaïque dont le « Soleil Artificiel » décrit ci-après.

L'IUT de Montpellier a préféré pouvoir fournir une maquette à chaque binôme d'étudiants. Dans un souci d'économie, il a choisi des modules de petites tailles.

### 2.1 La maquette de l'IUT de Nîmes

La maquette de Nîmes (fig. 1) utilise un panneau de 65 W<sub>crête</sub> (BP 365J de BP-Solar). Elle est utilisée en TP tournant en relation avec d'autres TP photovoltaïques (injection sur le réseau, mesures à la caméra thermique des températures des cellules, régulateur de charge de batterie,...

Pour ne pas gaspiller le flux lumineux et ne pas faire trop chauffer les cellules photovoltaïques, nous avons choisi d'utiliser des lampes dichroïques. Afin d'avoir un éclairage identique sur chaque cellule, il a été choisi d'utiliser autant de lampes dichroïques que de cellules photovoltaïques soit 36. Ces lampes ont pour caractéristiques 12 V 50 W et d'une ouverture de 24° (OSRAM 41870 FL). Leur spectre d'émission est donné en Annexe 2. Elles sont branchées en série en deux chaînes en parallèle. En réalité, on a utilisé 20 lampes par chaînes (20\*12=240 V, tension du réseau) pour ne pas suralimenter les lampes et faire griller prématurément la plus faible.



Fig. 1 : Vue générale de la maquette de l'IUT de Nîmes

Les deux chaînes de lampes sont alimentées par un unique gradateur pour simuler la variation de lumière sur une journée. Le gradateur est commandé en 0-10 V par une carte électronique utilisant un PIC 18F4331 conçue par les étudiants en projet industriel de Licence Professionnelle (fig. 2). Un interrupteur à 12 positions simule les ensoleillements pour les 12 mois de l'année. La gradation est possible de 0 à 100% mais au prix d'une modification du spectre lumineux en fonction du niveau de lumière désiré.

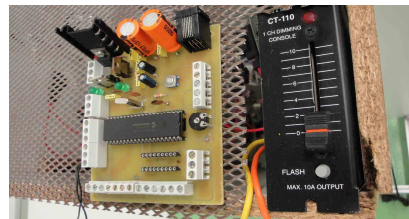


Fig. 2 : Le gradateur et sa commande

Utilisant un panneau photovoltaïque de puissance notable, la maquette est nécessairement volumineuse. Le chariot « lampes » mesure 75cm de large, 1m63 de haut et à une profondeur de 1m. Sa masse s'établit à 30kg environ. Le chariot « module photovoltaïque et charges » mesure 64cm de large, 1m45 de haut et à une profondeur de 1m. Sa masse s'établit à 20kg environ.

## 2.2 La maquette de l'IUT de Montpellier

La maquette est composée d'un panneau photovoltaïque au silicium polycristallin dont les caractéristiques sont détaillées dans le tableau suivant.

Puissance	5 Wc
Tension à $P_{max}$	17 V
Courant à $P_{max}$	300 mA
Tension en circuit ouvert	21,6 V
Courant de court circuit	330 mA
Longueur x Largeur x Profondeur	194x385x28 mm
Dimension utile de Silicium	36500 mm <sup>2</sup>

Tab. 1 : Tableau des caractéristiques du module RALOSS 5W

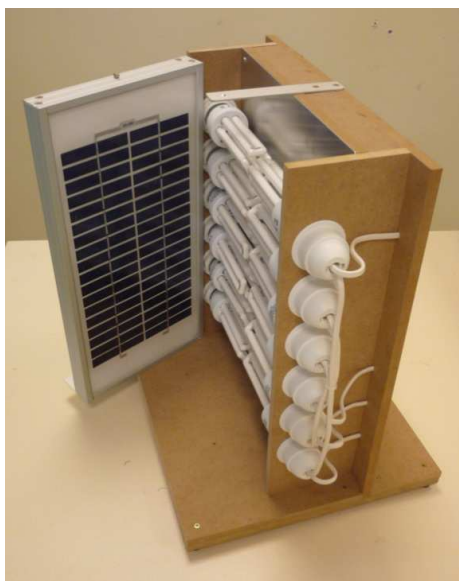


Fig. 3 : La maquette de l'IUT de Montpellier, en position ouverte pour la photo.

En face du panneau sont disposées 12 lampes fluo compactes de modèle GENERAL ELECTRIC FLE20TBXT3/840. Il s'agit de lampes de 20 W avec un IRC de 82, une température de couleur de 4000 K et un flux lumineux de 1152 lm. Leur spectre d'émission est donné en Annexe 2. La maquette étant prévue pour servir de charge triphasée polluante dans d'autres TP, elle est câblée sur trois phases (fig. 5). Pour nos essais, il suffit de relier les 3 neutres ensemble et les trois phases ensemble. On pourra ensuite alimenter entre phase et neutre en 230 V avec le secteur.

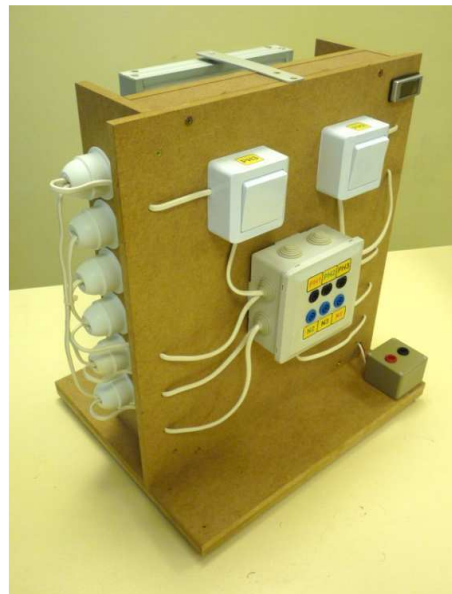


Fig. 4 : Vue arrière avec les raccords, les interrupteurs et l'afficheur de température

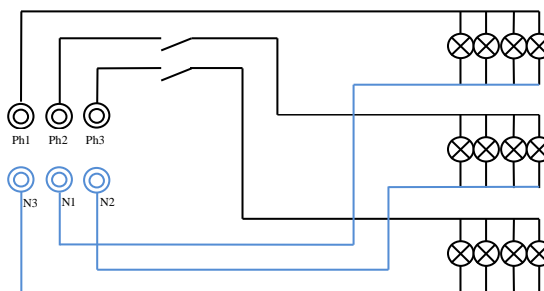


Fig. 5 : Branchement des lampes de la maquette.

Les interrupteurs sur deux des trois phases permettent de changer l'éclairage. Dans une certaine mesure, il est également possible d'utiliser la gradation en alimentant les lampes via un alternostat. Les lampes n'étant pas « officiellement graduable », nous avons procédé en les allumant sous tension nominale puis en diminuant la tension jusqu'à 150 V soit un taux de gradation en tension de 35%.

Enfin, derrière le panneau photovoltaïque, une sonde de température (Type CT) est fixée et un afficheur numérique permet de visualiser la température de fonctionnement.

L'ensemble de la maquette (figures 3 et 4) mesure 36 x 40 x 30 cm et pèse 5,2 kg. Le coût total des composants s'élève à 200 € environ (module photovoltaïque 50 €, lampes et douilles 80 €, bois et découpe 20 €, sonde de température et afficheur 30 €, tôle inox 10 €, bornes et câbles 10 €). Le temps de montage et de câblage représente environ 6h par maquette.

## 2.3 Comparaison des maquettes

Le tableau 2 reprend les données précédentes en vue d'une comparaison entre les 2 maquettes.

Il apparaît que la maquette de Nîmes est plus appropriée à alimenter des charges réelles que celle de Montpellier. En revanche, cette dernière est très simple de réalisation et son coût permet une fabrication pour plusieurs binômes. La comparaison des lampes reste délicate. Aucune ne donne entière satisfaction sur la puissance en sortie du panneau.

Maquette de Nîmes	Maquette de Montpellier
<i>Puissance nominale des panneaux</i>	
65Wc	5Wc
<i>Puissance extraite grâce au soleil artificiel. Rapport à la puissance nominale des panneaux</i>	
39 W (60%) à froid 33 W (51%) à chaud	2,5 W (50%) à froid 1,6 W (32%) à chaud
<i>Puissance électrique consommée par les lampes</i>	
2000W	240W
<i>Caractéristiques photométriques de la source (d'après documentations constructeur)</i>	
3600 cd, 2950 K <sup>(1)</sup> , IRC : 100	57 lm/W, 4000 K IRC : 82
<i>Variation de l'éclairage</i>	
0-100% par gradateur commandé en 0-10V par carte PIC	65-100% par alternostat. Possibilité de gradins grâce aux interrupteurs
<i>Utilisation de l'énergie produite</i>	
Effective et aisée (voir maquette de charges)	Difficile car peu de puissance en sortie du panneau.
<i>Échauffement</i>	
Dépasse 70°C	Limité à env. 65°C
<i>Coût et simplicité</i>	
Maquette en TP tournant assez volumineuse	Maquette simple, réalisée en 6 exemplaires rapidement. Tient sur une table de TP
<i>Robustesse</i>	
Aucune lampe changée en 5 ans	Lampes fragiles à cause de la gradation (3 lampes changées en 1 an)

Tab. 2 : Tableau de comparaison des 2 maquettes

### 3 EXEMPLE DE SEANCE DE TRAVAUX PRATIQUES

Dans cette partie, nous décrivons une séance de Travaux Pratiques de 3h. Elle a pour but la caractérisation d'un panneau photovoltaïque. Des courbes relevées par les étudiants lors de séances de Travaux Pratiques sont

<sup>1</sup> Une température de couleur basse est intéressante puisque le silicium est plus sensible aux radiations rouges que bleues. Les spectres d'émission des lampes sont donnés en Annexe 2.

également présentées. Enfin, nous concluons par la description de la façon dont les étudiants ont perçu cet enseignement et cette maquette.

#### 3.1 Caractéristiques du panneau

La première partie de la séance consiste à faire critiquer la maquette aux étudiants. Après une présentation par l'enseignant, nous les interpellons sur les conditions standard de caractérisation (STC : Standard Test Conditions) des documentations constructeurs. La maquette ne permet pas d'obtenir les 1000W/m<sup>2</sup> nécessaires. De plus le spectre lumineux n'est pas normalisé et enfin la température n'est pas contrôlée. La conclusion est rapidement tirée : si cette maquette ne permet pas une caractérisation normative, elle permet néanmoins de mettre en évidence des caractéristiques électriques ainsi que des tendances d'évolution de grandeurs en fonction des paramètres externes.

Nous demandons aux étudiants de tracer la caractéristique du courant délivré en fonction de la tension de sortie, c'est-à-dire I(V). Pour cela, on relie un rhéostat au panneau, ce qui permet de faire varier la valeur de la résistance de charge (fig. 6).

Le multimètre mis à disposition des étudiants permet d'effectuer simultanément une mesure de courant et une mesure de tension avec un point commun.

Durant ces essais, le panneau est soumis à un éclairage d'amplitude constante et maximale (toutes les lampes alimentées sous tension nominale). Cependant, pour garder le panneau à température proche de la température ambiante, il est demandé aux étudiants de faire les mesures rapidement puis d'éteindre les lampes.

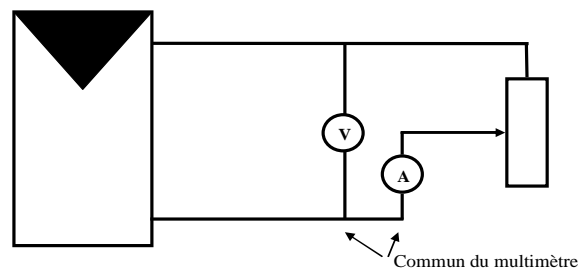


Fig. 6 : Schéma de câble du rhéostat et du multimètre pour relever la caractéristique I(V) du panneau photovoltaïque.

Une fois la caractéristique courant-tension tracée, les étudiants sont invités à calculer la puissance pour chaque point de mesure (fig. 7). Cela leur permet ensuite de tracer la caractéristique puissance-tension ( $P=f(V)$ ).

Les courbes suivantes ont été relevées par des étudiants de DUT GEII 2<sup>ème</sup> année à Montpellier, durant l'année scolaire 2011-2012. On remarque bien sûr que la puissance d'éclairage des lampes ne permet pas d'atteindre la puissance nominale du panneau RA-LOSS 5W.

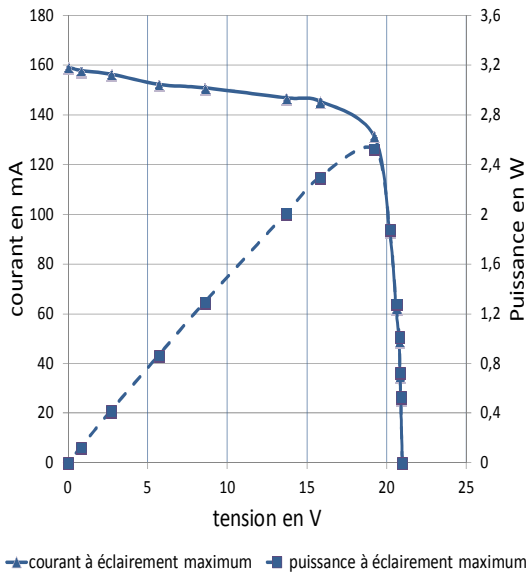


Fig. 7 : Caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  relevées sur une maquette de l'IUT de Montpellier.

Les étudiants doivent enfin comparer les courbes obtenues avec les caractéristiques du panneau, fournies par le fabricant (des exemples de caractéristiques obtenues en TP sont donnés dans la suite de cet article).

Pour faire abstraction de l'évolution de la température, on propose aussi aux étudiants d'utiliser la méthode du condensateur associé à un oscilloscope en mode X-Y.

### 3.2 Influence de paramètres extérieurs

#### 3.2.1 Influence de l'éclairement

L'objectif de la deuxième partie du TP est l'étude de l'influence de l'éclairement sur les performances du panneau photovoltaïque. Pour cela, les étudiants doivent renouveler les mesures précédentes pour différents éclairagements. Pour chaque niveau d'éclairement, la caractéristique est superposée aux précédentes. Cela permet aux étudiants de conclure sur l'impact de l'éclairement sur les caractéristiques de production d'un générateur photovoltaïque et d'observer concrètement cette notion vue en cours.

La figure 8 présente la superposition de deux caractéristiques courant-tension en fonction de l'éclairement. On y observe bien la diminution de puissance et le décalage du point de puissance maximale en fonction de l'éclairement.

#### 3.2.2 Influence de la température

Pour observer l'influence de la température, les étudiants laissent allumées les lampes illuminant le panneau. La température du panneau s'élève puis se stabilise au bout de quelques minutes. À l'aide d'une sonde de température, les étudiants détectent la stabilisation de la température et notent la valeur de cette dernière. Ils relèvent ensuite les caractéristiques courant-tension

et puissance-tension à chaud et les comparent aux caractéristiques obtenues à froid.

Enfin, il est demandé aux étudiants d'estimer le coefficient de dégradation de la tension et de la puissance en fonction de la température et de les comparer à ceux donnés dans la notice du constructeur.

La figure 9 présente la superposition de caractéristiques courant-tension relevées à chaud et à froid. Les étudiants visualisent très facilement la baisse de production énergétique lorsque la température augmente.

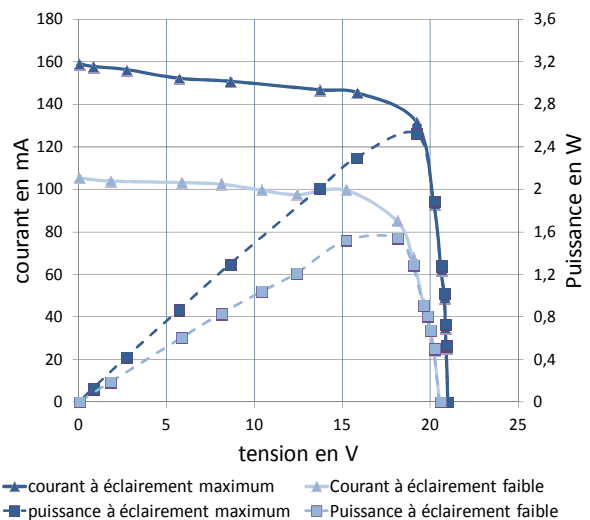


Fig. 8 : Évolution des caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  en fonction de l'éclairement (maquette de l'IUT de Montpellier).

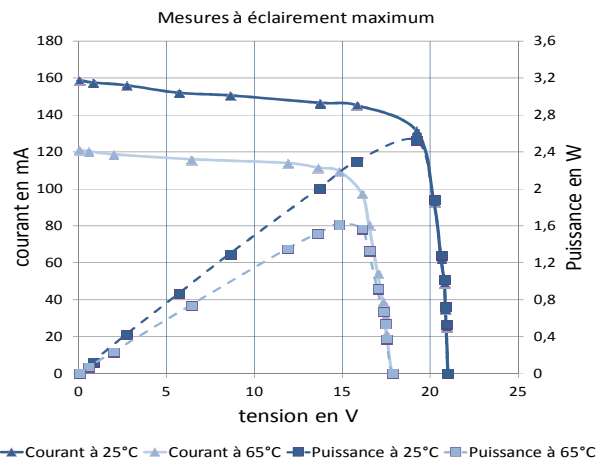


Fig. 9 : Évolution des caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  en fonction de la température (maquette de l'IUT de Montpellier).

#### 3.2.3 Influence des ombrages

On demande aux étudiants d'occulter une cellule et de mesurer les nouvelles caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  obtenues, puis de conclure sur le fonctionnement des diodes by-pass intégrées au panneau.

Cette manipulation est complétée par une mesure des températures des cellules à la caméra thermique.



### 3.2.4 Utilisation d'un hacheur pour obtenir le point de puissance maximale

Un hacheur (fig. 10) a été développé en projet par les étudiants de la Licence Professionnelle GUER. Le rapport cyclique est choisi manuellement de manière à montrer son effet sur le transfert de puissance. Dans un premier temps, on demande aux étudiants de brancher une lampe puis un moteur directement en sortie du panneau. La lampe ne s'allume que très faiblement (7 W transférés), le moteur ne démarre pas. On demande ensuite aux étudiants d'insérer le hacheur (fig. 11). Ils choisissent ensuite le « bon » rapport cyclique pour allumer la lampe (33 W transmis) puis faire tourner le moteur.

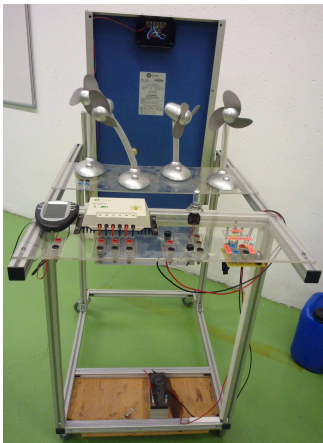


Fig. 10 : Différentes charges et convertisseurs utilisables sur la maquette de Nîmes : hacheur, lampe de phare automobile, moteurs, régulateur de charge de batterie,...

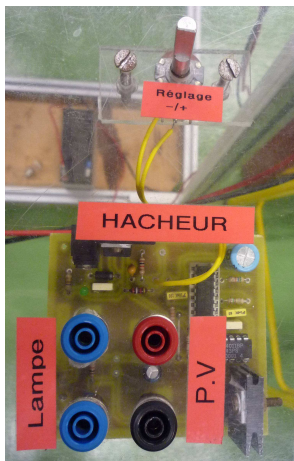


Fig. 11 : Vue de détail du hacheur

### 3.2.5 Proposition d'un modèle grâce au module PV de PSIM

En dernière partie de TP, les étudiants doivent proposer un modèle sur le logiciel PSIM<sup>®</sup> qui reproduit les caractéristiques de production I(V) et P(V) du panneau dans les conditions d'éclairement maximum et à 25°C (fig. 12). Ils doivent utiliser le module photovoltaïque disponible dans la bibliothèque de la version de dé-

monstration de PSIM<sup>®</sup>. Ce modèle est assez simple d'utilisation et permet d'insister sur les paramètres fondamentaux des profils des caractéristiques I(V) et P(V). Ensuite, une exportation des points de simulation permet de superposer les mesures et le comportement du modèle proposé par PSIM<sup>®</sup> (fig. 13)

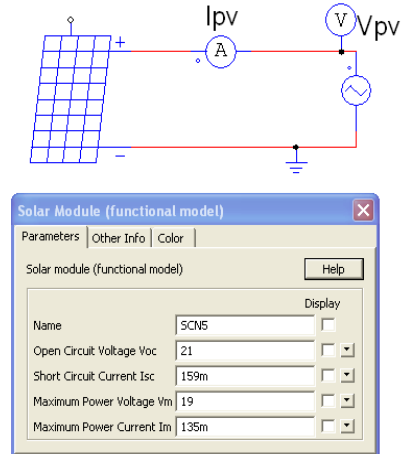


Fig. 12 : Schéma de simulation PSIM et paramétrage du module photovoltaïque.

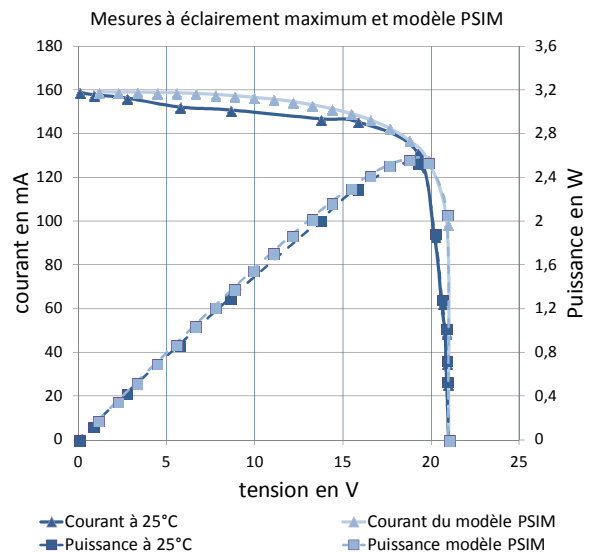


Fig. 13 : Superposition des caractéristiques I(V) et P(V) expérimentales et issues du modèle de simulation

## 4 RETOUR D'EXPERIENCE

Les étudiants (effectif = 75) de la 2<sup>ème</sup> année de DUT de l'IUT de Montpellier ont été interrogés à la suite de la séance de travaux pratiques consacrée à la caractérisation de panneaux photovoltaïques.

Une grande majorité d'entre eux (87%) affirme avoir apprécié ou beaucoup apprécié cette séance.

La maquette est également perçue comme un outil simple d'utilisation et facilitant la mise en application des concepts du cours (93%). De nombreux étudiants reconnaissent ne pas avoir assimilé ou compris les

notions de cours avant la séance (49%), mais estiment à 87% que le TP leur a permis de comprendre ou de mieux comprendre le cours.

Cependant, une partie des étudiants (17%) regrettent que des essais « grandeur nature » ne soient pas réalisés sur un système extérieur.

À l'IUT de Nîmes, on demande simplement aux étudiants de sortir le panneau (il est monté sur roulettes). Il est de plus inclinable pour se positionner face au soleil (fig. 14).

Pour les années à venir, nous prévoyons des séances réparties sur plusieurs jours ou sur divers moments de la journée afin d'illustrer ces concepts sur des panneaux photovoltaïques extérieurs.



Fig. 14 : Panneau photovoltaïque inclinable de l'IUT de Nîmes

## 5 CONCLUSION

Cet article présente une séance de travaux pratiques consacrée à la caractérisation de panneaux photovoltaïques. Il s'agit de relever les caractéristiques de sortie d'un panneau et d'observer leur évolution en fonction de paramètres extérieurs (éclairage, température...). Bien que des maquettes pédagogiques dédiées soient commercialisées, les départements GEII des IUT de Montpellier et de Nîmes ont conçu leur propre maquette. Ces dernières sont présentées et des courbes expérimentales sont fournies. Globalement, les étudiants ont manifesté une grande satisfaction lors des séances de Travaux Pratiques réalisées avec ces maquettes. Ils apprécient particulièrement l'observation concrète de notions théoriques vues en cours.

Par la suite, il est prévu de quantifier la réponse spectrale des modules afin de montrer que toutes les technologies ne réagissent pas de la même manière à la lumière.

## 6 ANNEXE 1

Afin de permettre aux étudiants d'étudier les performances de cellules photovoltaïques dans toutes sortes

de conditions, des systèmes intégrés sont apparus, associant source lumineuse commandable et panneau photovoltaïque. On peut citer par exemple le module SOL-ARTI de LANGLOIS (Fig. 15) **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** qui offre des performances intéressantes en termes de puissance en sortie du module (Puissance nominale du panneau photovoltaïque :  $220 W_{crête}$ . Puissance électrique obtenue sous éclairage artificiel : 70 W). De plus un gradateur permet de régler l'intensité lumineuse et un capteur de température permet de voir l'incidence de ce paramètre. Très adapté à la réalisation de travaux pratiques, ce type de dispositif pédagogique est cependant rendu peu accessible du fait de son coût élevé (3.370 € HT pour le SOL-ARTI).

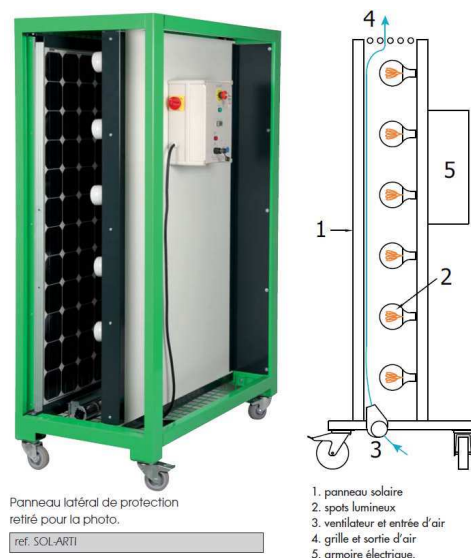


Fig. 15 : La maquette SOL-ARTI proposée par la société LANGLOIS (dimensions : 193 x 123 x 67 cm, poids : 40kg)

## 7 ANNEXE 2 : Spectre des sources lumineuses

Les lampes OSRAM 41870 FL utilisées à l'IUT de Nîmes sont des halogènes basse tension. Elles émettent un spectre continu donné figure 16 qui représente l'intensité relative de chaque longueur d'onde (en nm en abscisse).

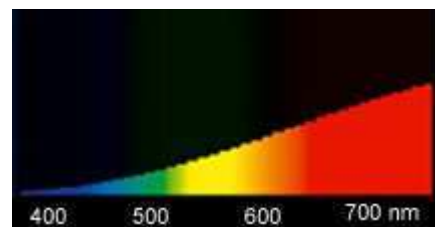


Fig. 16 : Type de spectre lumineux émis par les lampes halogènes basse tension utilisées à l'IUT de Nîmes

On peut noter que la proportion de rouge, bien converti par les cellules au silicium, est importante. De plus, en gradation, cette proportion augmente encore.

Les lampes GE FLE20TBXT3/840 utilisées à l'IUT de Montpellier sont des fluo compacts. La lumière

« blanche » est synthétisée à partir de phosphores qui excitent les 3 types de cônes de l'œil humain dans leur longueur d'onde de plus forte sensibilité avec, de plus, une proportion assez importante dans le bleu afin d'obtenir un meilleur rendement de conversion. Il en résulte un spectre discontinu comme indiqué figure 16.

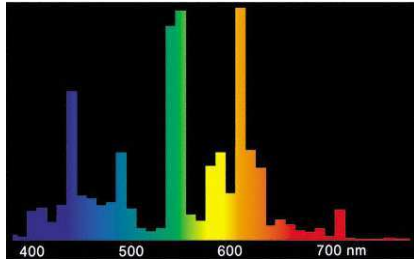


Fig. 17 : Spectre lumineux des lampes fluocompactes utilisées à l'IUT de Montpellier (teinte 840)

La proportion de lumière bien convertie par les cellules photovoltaïques au silicium est assez faible. L'utilisation d'une teinte 827, plus rouge (fig. 17), permettrait un meilleur rendement des cellules photovoltaïques au prix d'un plus mauvais rendement des lampes.

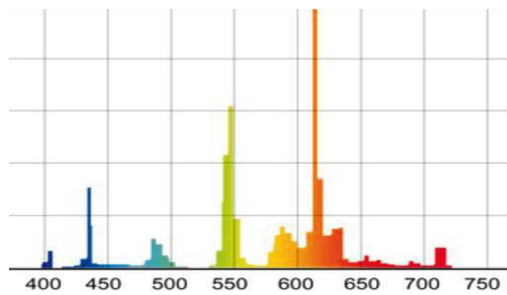


Fig. 18 : Spectre lumineux des lampes fluocompactes teinte 827

Il est cependant clair que le rendement de l'ensemble n'a pas une importance capitale pour les phénomènes que nous désirons montrer aux étudiants. S'ils posent la question, on peut leur faire remarquer que le rendement du soleil par rapport à la Terre est extrêmement faible puisque l'essentiel des rayons solaires part dans l'espace et que la proportion de ceux atteignant la Terre est minime.

## 8 BIBLIOGRAPHIE

- [1] L. Protin, S. Astier « *Convertisseurs photovoltaïques* », *Techniques de l'Ingénieur*, D3360.
- [2] S. Astier « *Conversion photovoltaïque: de la cellule aux systèmes* », *Techniques de l'Ingénieur*, D3936.
- [3] B. Multon « *Énergies Renouvelables* », *cours ENS de Cachan antenne de Bretagne*. ISBN 9782909968940
- [4] C. Peutot « *Chargeurs de batteries* », *Techniques de l'Ingénieur, Traité Électronique*, E3994.
- [5] V. Boitier, C. Alonso « *Dimensionnement d'un système photovoltaïque* », *CETSI'S'2005*, Nancy, 25-27 octobre 2005, 6 pages.
- [6] V. Boitier, P. Maussion, C. Cabal, « *Recherche du maximum de puissance sur les générateurs photovoltaïques* », *revue 3E.I.*, N°54, septembre 2008, pp. 90-96.
- [7] <http://www.langlois-france.com/pdf/SOL-ARTI.pdf>.