Solarimètre intégrateur autonome et continu

K. Gobrecht, G. Kuhn

► To cite this version:

K. Gobrecht, G. Kuhn. Solarimètre intégrateur autonome et continu. *Revue de Physique Appliquée*, 1979, 14 (1), pp.165-168. 10.1051/rphysap:01979001401016500 . jpa-00244573

HAL Id: jpa-00244573

<https://hal.science/jpa-00244573>

Submitted on 1 Jan 1979

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.

Classification
Physics Abstracts
07.60D

Solarimètre intégrateur autonome et continu

K. Gobrecht (*) et G. Kuhn

Département Génie Thermique IUT
Université de Grenoble et AGEDES (**)

(Reçu le 2 octobre 1978, accepté le 26 octobre 1978)

Résumé. — Nous présentons un intégrateur d'énergie solaire mesurant la somme du flux arrivant sur une surface plane. Le temps d'intégration peut varier d'un jour à plusieurs années. Il est entièrement autonome, peu coûteux, à lecture continue et directe.

Abstract. — We present a device which integrates the solar energy flux on a plane surface. The integration time can vary from one day to several years. This solarimeter is completely autonomous, cheap and has a direct and permanent readout.

Les données d'irradiations solaires sont relativement rares, même pour des pays comme la France. Les mesures d'insolation, plus fréquentes, ne suffisent pourtant pas pour l'exploitation efficace de l'énergie solaire. La quantité d'énergie réellement disponible dépend en effet d'un certain nombre de paramètres supplémentaires :

- l'orientation du capteur solaire,
- son environnement (horizon, végétation, neige...),
- les conditions microclimatiques (brouillards, pollution, altitude, ...).

Les calculs tenant compte de tous ces paramètres sont difficiles sinon impossibles à faire. Il est donc intéressant de pouvoir mesurer directement la quantité d'énergie solaire tombant pendant le temps d'observation (semaines, mois, années) en un lieu et une orientation donnés.

Les solarimètres classiques (thermopiles) sont des appareils coûteux et complexes, nécessitant un entretien régulier, un système d'acquisition de données et donc une alimentation électrique. Des stations autonomes ont bien été développées avec ces solarimètres (par exemple la station C.E.A.), avec alimentation électrique par photopiles, mais il s'agit d'appareils lourds et chers.

Nous avons développé, il y a déjà plusieurs années, un petit intégrateur autonome, fiable, facile à utiliser, peu encombrant et bon marché.

1. Principe de l'appareil. — Le flux énergétique d'origine solaire est transformé, par une photopile en un signal électrique qui, après linéarisation, est intégré par un coulombmètre électrochimique. L'utilisation des photopiles comme solarimètre est très courante, mais le signal est, en général, traité et analysé en faisant appel à l'électronique et à des appareils de mesure.

A notre connaissance, un seul autre appareil utilisant un intégrateur électrochimique a été décrit récemment [1]. Il n'est pas à lecture directe, mais nécessite des appareils annexes. De plus sa durée de vie est limitée par la consommation d'électrodes solides.

2. Description de l'appareil. — L'appareil consiste en une photopile au silicium, un réseau électrique de linéarisation et un micro-coulombmètre. Les figures 1a et 1b montrent respectivement les schémas électriques d'appareils prototypes et de la version finale.

La photopile solaire en silicium monocristallin produit un courant de court-circuit approximativement proportionnel à l'énergie incidente. Il faut distinguer deux bandes spectrales pour le rayonnement solaire, car la photopile ne transforme en courant électrique que les rayons de longueur d'onde inférieure à 1,2 μm (Fig. 2). La bande de longueur d'onde supérieure à 1,2 μm ne contient cependant qu'environ 16 % du flux solaire direct, c'est-à-dire qu'en cas de beau temps, la cellule donne un signal à peu près proportionnel au flux global, mais inférieur de 16 %.

Les photopiles utilisées sont de marque AEG-Téléfunken, type BPY 70. Il s'agit d'une mince plaque de silicium de 20 mm $\times$ 20 mm, ayant une surface

(*) Nouvelle adresse : Institut Laue Langevin, Chemin des Martyrs, Grenoble, France.

(**) Association Grenobloise pour l'Etude et le Développement de l'Energie Solaire.

Fig. 1. — Schémas électriques : a) Prototype; b) modèle étanche. P : Photopile; R_c : Résistance Shunt; R_s : Résistance série; M : Micro-coulombmètre; I : Inverseur.

[Schematic circuit diagram : a) Prototype; b) Improved model. P : solar cell; R_c : shunt resistance; R_s : series resistance; M : micro-coulombmeter; I : inverting switch.]

Fig. 2. — Réponse spectrale de la photopile BPY 70.

[Spectral response of the solar cell BPY 70.]

utile de 360 mm², dont la surface est recouverte d'une couche antiréfléctive. Le rendement nominal est de 10 %.

Le dispositif d'intégration utilisé est un micro-coulombmètre à mercure. Un petit capillaire en verre est rempli de mercure et bouché par 2 contacts électriques. Les électrodes de mercure sont séparées, sur quelques dixièmes de millimètre, par une solution aqueuse d'un sel de mercure formant une petite bulle parfaitement visible. Le déplacement du mercure de l'anode vers la cathode dû au courant appliqué fait migrer la bulle le long du capillaire en direction de l'anode. La distance parcourue est proportionnelle à la quantité de mercure transférée, donc à $\int i dt$. La mesure de cette intégrale se traduit ainsi par la lecture d'une distance. Lorsque la bulle est arrivée à une extrémité du capillaire, on inverse la polarité pour la faire repartir dans l'autre sens.

Puisqu'il s'agit d'un processus électrochimique, la résistance interne du micro-coulombmètre dépend

du courant appliqué et de la position du capillaire par rapport à l'horizontale. Pour une position fixe, les variations de la résistance interne en fonction du courant sont systématiques et reproductibles (Fig. 3). Elles ont une influence négligeable sur la précision du micro-coulombmètre tant que la source de courant a une résistance interne (ou interne et série) très grande (de l'ordre du M Ω). Pour les besoins de l'intégrateur d'énergie solaire, les variations de la résistance interne du micro-coulombmètre font partie du réseau de linéarisation.

Fig. 3. — Courant de court-circuit I_c de la photopile en fonction du flux énergétique total Φ d'origine solaire. L'écart de linéarité est tracé en pourcentage (%).

[Short circuit current I_c of the solar cell as a function of the total solar energy flux Φ . The deviation from linearity is plotted in %.]

Le micro-coulombmètre est fabriqué par la firme américaine Curtis Instruments sous le nom d'Indachron (type TA 120 LA) et importé en Europe par Tekelec-Airtronic. L'échelle a une longueur de 25 mm, et est graduée de 0 à 1 000, en tant que compteur horaire. L'intégrateur fonctionne entre -30°C et $+80^\circ\text{C}$.

Comme nous l'avons dit plus haut, la photopile ne fournit qu'un signal approximativement proportionnel à l'irradiation, qui contient du flux direct et diffus. Le flux diffus a une répartition spectrale qui est, en moyenne, de plus grande longueur d'onde que le flux direct. Si nous étalonnons notre photopile à partir du rayonnement direct, nous avons donc une erreur d'autant plus grande que la proportion de diffus est plus grande (Fig. 3). Il faut remarquer que la part énergétique du flux diffus est faible par beau temps et ne devient sensible qu'en cas de temps couvert. Bien que l'énergie totale intégrée soit alors plus faible, il faut compenser le défaut de linéarité. Pour cela, il suffit de choisir une résistance R_s en série avec le micro-coulombmètre telle que les variations de la

résistance interne (Fig. 4), qui sont importantes en faible courant, soient juste compensées. Mais dans ce cas, la photopile ne travaille plus dans les conditions de court-circuit et il faut donc prévoir une résistance shunt R_c ($< 5 \Omega$) (Fig. 1a).

Fig. 4. — Résistance interne R du micro-coulombmètre TA 120 LA en fonction du courant I et de la position du capillaire : V : vertical ; H : horizontal.

[Internal resistance R of the micro-coulombmeter TA 120 LA as a function of the current I and the orientation of the capillary : V : vertical ; H : horizontal.]

Nous avons toujours utilisé l'intégrateur en position horizontale. Avec ces conditions de fonctionnement, la détermination exacte de R_s et R_c est alors la suivante, par exemple pour une capacité pleine échelle de l'ordre du mois :

Le micro-coulombmètre a une capacité pleine échelle de 6,48 mAh (23,3 As). Un mois de beau temps continu en été permet de capter environ 280 kWh/m² au maximum. Il faut donc une sensibilité en courant du micro-coulombmètre de 23,4 $\mu A m^2/kW$. La photopile donne un courant de court-circuit de 100 mA pour un flux énergétique de 1 kW/m², elle a donc une sensibilité en courant de 100 mA m²/kW, c'est-à-dire 4 280 fois supérieure à celle que doit avoir le micro-coulombmètre. Le rapport des résistances série et shunt doit alors être $R'_s/R_c = 4\,280$. R'_s est dans ce cas la somme des résistances R_s + résistance interne du micro-coulombmètre.

Pour les flux les plus faibles, la photopile ne reçoit que de la lumière diffuse et donne 16 % de courant en trop. Le micro-coulombmètre doit donc intégrer dans cette gamme 16 % en moins. Sachant qu'il a aux courants les plus faibles une résistance interne de 1 600 Ω supérieure à celle qu'il a aux courants forts, il suffit d'ajuster la résistance-série totale R'_s à 10 k Ω pour baisser le courant le plus faible de 16 %. Avec $R'_s = 10$ k Ω et le rapport $R'_s/R_c = 4\,280$, on trouve pour R_c (fil de constantan), une résistance $R_c = 2,34 \Omega$ (longueur 36 mm). Cette valeur est suffisamment petite pour considérer la photopile en court-circuit. La résistance R_s doit être égale à 7,8 k Ω (10 k Ω -600 Ω -1 600 Ω). Avec d'autres valeurs de R_c et R_s ,

on peut choisir la sensibilité de l'intégrateur selon le temps d'intégration prévu (jour, semaine, année, ...).

3. Etalonnage. — Nous étalonnons l'ensemble photopile-micro-coulombmètre en mesurant la différence de potentiel apparaissant aux bornes de R_s lors de l'exposition de la photopile à une irradiation élevée et connue. Le soleil direct par beau temps et à midi sert de source lumineuse. Le flux est mesuré avec un radiomètre (Radiant Flux Meter Model 8310 et 8320 de Hewlett-Packard) visant le soleil. La photopile doit avoir un champ de vision égal à celui du radiomètre (5°) ce que nous avons réalisé avec un bout de tube noirci intérieurement. Ainsi, la lumière diffuse est exclue pendant l'étalonnage. La tension aux bornes de R_s divisée par la valeur de celle-ci et par le flux mesuré, donne la sensibilité en courant de l'intégrateur (typiquement 23,4 nAm²/W). Le dispositif d'étalonnage (intégrateur + radiomètre)

a)

b)

Fig. 5. — Prototype du solarimètre intégrateur avec une gamme pleine échelle de 277 kWhm⁻². Haut : recto ; bas : verso.

[Prototype of the integrating Solarimeter having a full scale range of 277 kWh/m². Top : front view, bottom : rear view.]

Fig. 6. — Modèle étanche et à inverseur : quand l'index du micro-coulombmètre a atteint la fin de l'échelle, il suffit de retourner l'appareil dans son berceau pour que l'index reparte dans l'autre sens.

[Improved model with inversing switch : when the pointer of the micro-coulombmeter reaches the end of the scale it is only necessary to inverse the device in its cradle in order to have the pointer in a new starting position.]

est dirigé vers le ciel bleu ou couvert, dans la direction opposée au soleil et dans d'autres directions pour vérifier la linéarité. Pour l'étalonnage, nous pouvons utiliser aussi nos solarimètres et diffusomètres Kipp et Zonen, type CA6.

Nous avons fait confiance aux tolérances données par les fabricants de composants, en ce qui concerne l'influence de la température de fonctionnement.

Nous avons réalisé des prototypes (Fig. 5) et un modèle étanche (Fig. 6) selon le schéma 1b, permet-

tant l'inversion de polarité et une remise à zéro rapide. Un commutateur supplémentaire permettrait de réaliser un appareil à plusieurs sensibilités. Le prix des composants est de l'ordre de 150 francs.

Nous estimons la précision à environ $\pm 5\%$. Les erreurs proviennent surtout de l'incertitude sur la proportion de rayonnement diffus. Nous procédons actuellement à des essais comparatifs de longue durée avec nos solarimètres Kipp et Zonen étalonnés.

Bibliographie

- [1] BERMAN, E., BIRAN, D. et BRAUNSTEIN, A., *Solar Energy* 20 (1978) 465-467.