

Dispositif de compensation des fluctuations de source en photométrie photoélectrique

P. Giacomo, A. Tossier

► **To cite this version:**

P. Giacomo, A. Tossier. Dispositif de compensation des fluctuations de source en photométrie photoélectrique. *Revue de Physique Appliquée*, 1966, 1 (2), pp.145-149. <10.1051/rphysap:0196600102014500>. <jpa-00242700>

HAL Id: jpa-00242700

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00242700>

Submitted on 1 Jan 1966

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.

DISPOSITIF DE COMPENSATION DES FLUCTUATIONS DE SOURCE EN PHOTOMÉTRIE PHOTOÉLECTRIQUE

Par P. GIACOMO et A. TOSSER,
Faculté des Sciences de Caen.

Résumé. — En utilisant une photoconductance comme résistance de charge d'une cellule photoélectrique, on peut réduire dans un rapport compris entre 10 et 100 l'effet de fluctuations à basse fréquence de la source. On étudie l'influence de la fréquence, du taux de modulation, et des caractéristiques propres de la photoconductance.

Abstract. — By using a photoconductive cell as load for a photocell, it is possible to reduce, by a factor of ten to hundred, the effect of the low frequency fluctuations of the source. Influence of frequency, modulation ratio, and the characteristics of the photoconductive cell itself are studied.

Dans de nombreux dispositifs photoélectriques, les mesures sont rendues difficiles par les fluctuations de luminance des sources utilisées.

Les fluctuations de fréquences élevées peuvent être aisément éliminées par filtrage ; il n'en est pas de même des fréquences basses. Parmi les dispositifs utilisés pour éliminer ces fluctuations, les systèmes à double faisceau, à récepteur unique, sont incontestablement les meilleurs, mais ils exigent un montage optique très soigné, toujours encombrant, et sont difficiles à adapter à un montage existant.

On peut envisager divers procédés de compensation électrique, moins parfaits mais de mise en œuvre plus simple. Ceux-ci résultent de la constitution du dispositif photométrique type. La source S fournit le flux φ . Celui-ci, après traversée du dispositif X à étudier, de transmission T , est reçu par l'élément photosensible P (très souvent un photomultiplicateur), de sensibilité σ (fig. 1). Dans le cas des photomultiplicateurs, σ est fonction de la haute tension d'alimentation U . Le courant $I = \sigma T \varphi$ délivré par P passe dans une résistance R aux bornes de laquelle on mesure la différence de potentiel $V = R\sigma T \varphi$.

La capacité C permet de filtrer les fluctuations de

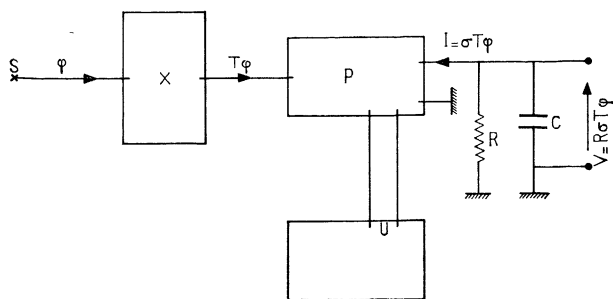


FIG. 1.

fréquences élevées, au détriment de la rapidité des mesures ; il est peu commode de dépasser pour RC une valeur de l'ordre de quelques secondes. Pour compenser les fluctuations de plus grande période, on peut :

- a) Comparer V à une tension de référence V_0 , proportionnelle à φ .
- b) Asservir U à une valeur telle que $\sigma\varphi$ soit constante.

Dans ces deux cas, on a besoin d'un deuxième élément photosensible. Dans le dispositif a), on doit mesurer le rapport des deux tensions V et V_0 , opération nécessitant un appareillage notable ; dans le dispositif b), s'il est assez facile d'asservir la haute tension U à l'aide d'un récepteur auxiliaire, il faut que ce dernier ait une caractéristique $\sigma(U)$ identique à celle de P.

Si P fournit un courant d'obscurité notable i (variable avec U), celui-ci réintroduit les variations de $i/V_0(\varphi)$ ou de $i[U(\varphi)]$.

L'élimination de ce dernier effet est possible, dans le cas a), en compensant i à l'aide d'un générateur de courant ; dans le cas b), cette compensation devient impossible, on perd donc en efficacité ce que l'on gagne en simplicité par rapport à un montage à double faisceau.

Le dispositif que nous proposons, s'il conserve des défauts analogues, nous semble présenter au moins l'avantage d'une extrême simplicité.

Utilisation d'une photoconductance auxiliaire. —

Si l'on remplace la résistance fixe R par une photoconductance, éclairée uniformément par une fraction constante du flux φ , et si sa conductance $Y = 1/R$ est proportionnelle au flux reçu, on voit que $V = R\sigma T \varphi = k\sigma T$ est indépendant de φ (fig. 2). La photoconductance joue à elle seule le rôle du quotientmètre nécessaire dans la solution a).

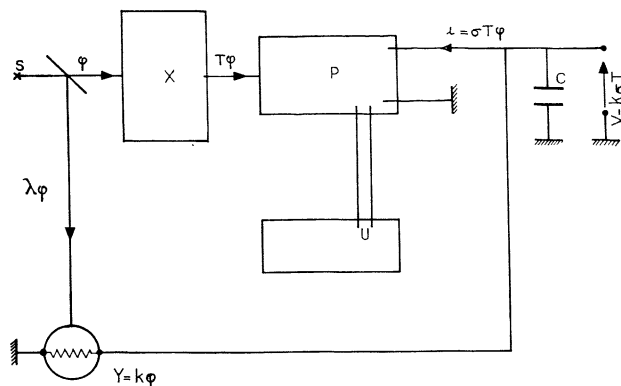


FIG. 2.

On a donc cherché des photoconductances remplissant au mieux la condition ci-dessus. Pour les photoconductances choisies (RCA 6694 A), la relation entre la conductance Y et le flux φ , supposé monochromatique, peut se mettre sous la forme $\text{Log } Y = N \text{Log } \varphi + \text{Cte}$, où N est positif, lentement variable avec φ (ou Y), mais reste égal ou légèrement supérieur à 1 dans un large domaine (φ variant dans le rapport de 1 à 30 par exemple). Il est commode de repérer ce domaine par les valeurs R'_1 et R'_2 de R entre lesquelles N est ≥ 1 .

Si $N = 1$, V est indépendant de φ ; si $N < 1$, la compensation est insuffisante; si $N > 1$, il y a « surcompensation ». Dans ce dernier cas, on peut améliorer la compensation à l'aide d'une grande résistance P mise en parallèle avec R (ou d'une petite résistance s mise en série), diminuant les variations relatives de l'ensemble; pour des fluctuations relatives de faible amplitude, il suffit de prendre $P = R_0 / (N_0 - 1)$ (ou $s = (N_0 - 1) R_0$), où R_0 et N_0 sont les valeurs respectives de R et N (supérieur à 1) pour la valeur moyenne φ_0 du flux. Le relevé des caractéristiques $R(\varphi)$ permet de déterminer N en chaque point et de calculer la résistance d'accord. Si l'on dispose d'un procédé pour moduler à volonté le flux φ , il est plus simple de régler cette résistance d'accord empiriquement; le réglage n'est pas très critique (fig. 3).

Le coefficient de température élevé des photoconductances ($\Delta R/R$ de l'ordre de 2 % par degré), joint à leur faible inertie thermique, les rend sensibles aux fluctuations de température; il suffit de filtrer ces fluctuations en enfermant la photoconductance dans un bloc de métal, grossièrement isolé du point de vue thermique (filtre résistance — capacité thermique).

Le courant d'obscurité éventuel du récepteur P doit être compensé par un générateur de courant.

Facteurs limitant l'efficacité. — Dans tout le domaine où N est ≥ 1 , on pourrait espérer, à l'aide de la résistance d'accord, obtenir une compensation

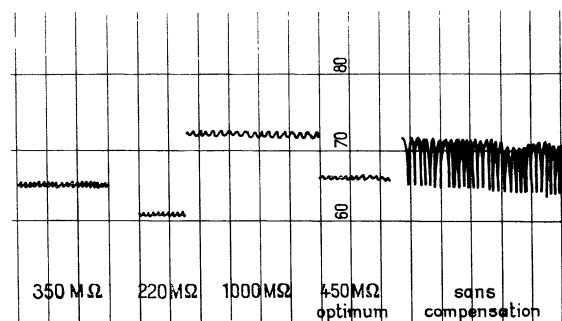


FIG. 3. — Acuité du réglage de la résistance d'accord P (valeurs indiquées en $M\Omega$). Photoconductance n° 2; $R_0 = 15 M\Omega$; $\lambda = 2 537 \text{ \AA}$; luminescent A; fréquence 0,05 Hz; taux de modulation 7,5 %.

exacte. Celle-ci est en fait limitée par des phénomènes secondaires. On caractérisera les résultats obtenus par le coefficient de compensation K , rapport des modulations relatives avant et après compensation.

a) « DISTORSION »: N variant en fonction du flux, la compensation n'est assurée que pour les termes du premier ordre. Pour des fluctuations sinusoïdales, les termes d'ordre supérieur font apparaître des harmoniques, dont l'importance croît avec le taux de modulation (fig. 4); même lorsque la compensation annule rigoureusement le terme fondamental de la modulation, K se trouve limité par ces harmoniques résiduels.

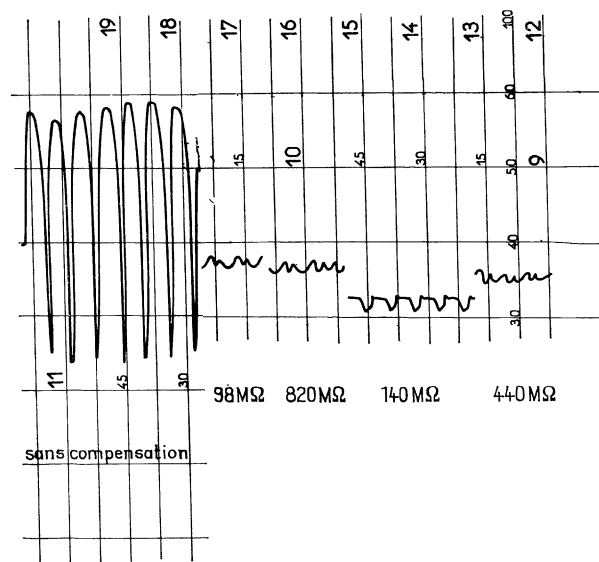


FIG. 4. — Effet de « distorsion » à taux de modulation élevé. Modulation résiduelle pour quatre valeurs différentes de la résistance d'accord P (valeurs indiquées en $M\Omega$). Photoconductance n° 2; $R_0 = 14 M\Omega$; $\lambda = 2 537 \text{ \AA}$; luminescent A; fréquence 0,005 Hz; taux de modulation 50 %.

b) **CONSTANTE DE TEMPS :** Les photoconductances présentent une constante de temps intrinsèque. Les variations de Y ne suivent les variations de φ qu'avec un léger retard de phase, croissant avec la fréquence. Pour un taux de modulation faible (pas de distorsion) et pour le meilleur réglage de la résistance d'accord, il subsiste une légère modulation, en quadrature avec celle de φ ; cette modulation résiduelle croît avec le retard de phase, donc avec la fréquence.

Le coefficient de compensation K est donc fonction décroissante du taux de modulation et de la fréquence (fig. 5).

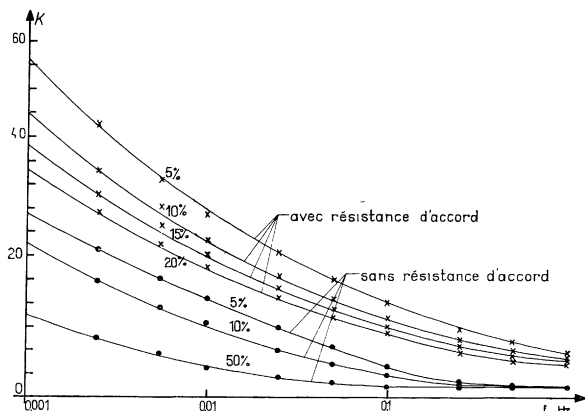


FIG. 5. — Variations de K en fonction de la fréquence pour différents taux de modulation. Photoconductance n° 2; $R_0 = 25 \text{ M}\Omega$; $\lambda = 2\,537 \text{ \AA}$; luminescent A.

Notons en outre qu'un défaut important d'uniformité de l'éclairage de la photoconductance peut réduire l'efficacité de la compensation : par exemple, une variation d'éclairage dans le rapport de 1 à 10 entre les deux moitiés de la surface photosensible peut diviser K par 10.

Choix du point de fonctionnement. — L'effet de distorsion étant lié aux variations de N en fonction de φ , on a intérêt à choisir la région de la caractéristique $Y(\varphi)$ où N varie le plus lentement. Cette région est voisine de la limite du domaine $N \geq 1$ correspondant aux plus faibles valeurs de R . Pour la photoconductance n° 2 (fig. 6), cette limite inférieure correspond à $R_1 = 7,5 \text{ M}\Omega$; la limite supérieure correspondrait à $R_1 > 200 \text{ M}\Omega$, très loin vers la droite.

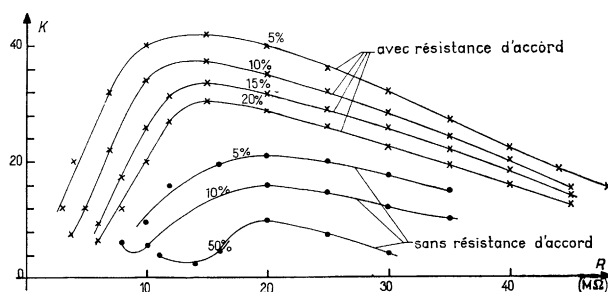


FIG. 6. — Variations de K en fonction de la résistance moyenne R_0 de la photoconductance, pour divers taux de modulation. Photoconductance n° 2; $\lambda = 2\,537 \text{ \AA}$; luminescent A; fréquence 0,005 Hz.

Pour chaque photoconductance, et pour chaque longueur d'onde d'utilisation, on aura ainsi une valeur R_m de R au voisinage de laquelle la compensation sera optimale.

Les tableaux ci-dessous donnent quelques valeurs des résistances R_m de différents photoconductances au point moyen le plus favorable (pour de faibles taux de modulation) pour diverses longueurs d'ondes. On a associé à plusieurs de ces photoconductances une couche luminescente permettant d'améliorer leur efficacité dans l'ultraviolet; dans ce cas, c'est la composition spectrale du flux réémis par luminescence qui détermine le point de fonctionnement optimal pour une cellule donnée.

LONGUEUR D'ONDE	2 537 Å	4 358 Å	5 890 Å
R_m , photoconductance n° 3	1 700 MΩ	45 MΩ	1 025 MΩ
R_m , photoconductance n° 5		163 MΩ	3 300 MΩ

PHOTO- CONDUCTANCE N°	LUMINESCENT (ÉCLAIRÉ PAR $\lambda = 2\,537 \text{ \AA}$)	RÉSISTANCE R_m
3	A ⁽¹⁾	320 MΩ
3	B ⁽²⁾	995
2	A	12
1	A	155
4	A	280
5	A	1 300

⁽¹⁾ A : Luminescent Sylvania « Super de Luxe Cool White ».

⁽²⁾ B : Luminescent Sylvania « Phosphor 235 ».

On voit, d'après ces tableaux, qu'on dispose d'un large choix de valeurs de l'impédance de charge moyenne; à condition d'avoir préalablement étalonné les photoconductances disponibles, on pourra choisir la mieux adaptée à chaque problème déterminé.

Effets chromatiques. — L'éclairage permet de se placer dans le domaine d'utilisation ($N \geq 1$) devient trop élevé si l'on sort du domaine spectral de sensibilité des photoconductances. Celui-ci s'étend, pour les cellules utilisées, du rouge à l'ultra-

violet proche. On peut étendre leur emploi à l'ultra-violet moyen en leur adjoignant une couche luminescente convenable (en particulier exempte de rémanence), appliquée directement devant la partie sensible.

Pour une photoconductance donnée, lorsqu'on change de longueur d'onde, on retrouve la même variation de R en fonction de φ à une affinité près : les valeurs de R'_1 et R''_1 par exemple dépendent fortement de la longueur d'onde, mais la loi de variation $R(\varphi)$ reste sensiblement la même en coordonnées réduites R/R'_1 ; φ/φ_1 . On retrouve donc les mêmes valeurs du coefficient de compensation K pour des valeurs homologues de R (ou de φ) correspondant aux mêmes valeurs de N .

Lorsqu'on utilise une photoconductance en lumière non monochromatique, on se trouve contraint de la faire fonctionner avec la même valeur de R_0 pour les différentes longueurs d'ondes. Si l'on a choisi R_0 optimale pour une des longueurs d'ondes utilisées, λ_0 , le coefficient de compensation K pour les autres longueurs d'ondes est d'autant plus faible qu'elles sont plus éloignées de λ_0 (fig. 7). En supprimant les fluctuations relatives égales pour les différentes longueurs d'ondes, on obtient donc une valeur moyenne de K inférieure à celle qu'on peut obtenir en lumière monochromatique. Cet effet est déjà appréciable lorsqu'on utilise un luminescent à spectre de réémission large (par rapport au domaine spectral de sensibilité des photoconductances).

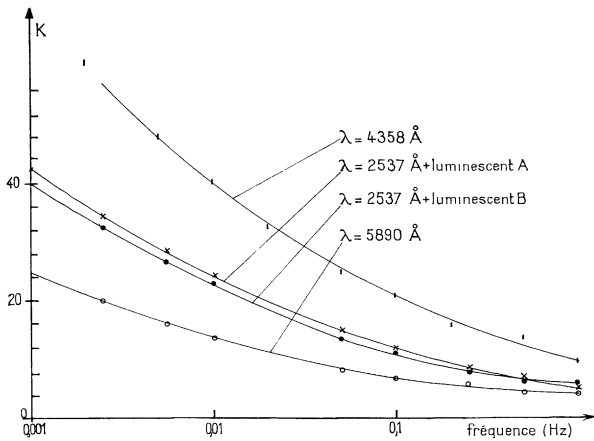


FIG. 7. — Variations de K en fonction de la fréquence pour différentes longueurs d'ondes, pour une valeur imposée de la résistance R . Photoconductance n° 2 ; $R_0 = 25 \text{ M}\Omega$; taux de modulation 15 % ; résistance d'accord optimale pour chaque longueur d'onde.

Résultats. — On notera que, pour les résultats résumés sur les figures précédentes, les divers facteurs limitatifs interviennent simultanément. Lorsqu'on se place dans les meilleures conditions (lumière monochromatique, R voisine de R_m , taux de modulation faible, résistance d'accord) on peut atteindre

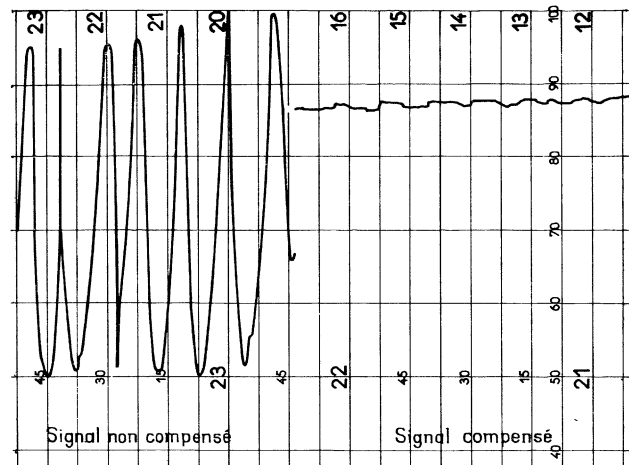


FIG. 8. — Compensation optimale à taux de modulation élevé. Photoconductance n° 5 ; $R_0 = 163 \text{ M}\Omega$; résistance d'accord $P = 1\,500 \text{ M}\Omega$; $\lambda = 4\,358 \text{ \AA}$; taux de modulation 50 %.

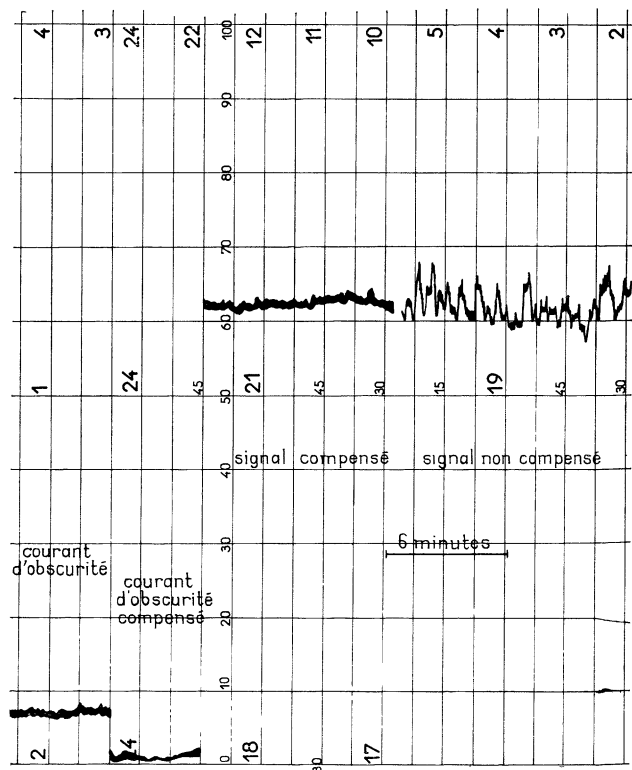


FIG. 9. — Compensation de fluctuations aléatoires d'une source peu stable. Photoconductance n° 3 ; $R_0 = 40 \text{ M}\Omega$; sans résistance d'accord ; capacité de filtrage $0,025 \mu\text{f}$; $\lambda = 4\,358 \text{ \AA}$.

des valeurs du coefficient de compensation K supérieures à 100.

A titre d'exemple, dans le cas de la figure 8, K est égal à 25 pour 50 % de modulation à 0,005 Hz. Si le taux de modulation est réduit à 10 %, K reste supérieur à 90 jusqu'à 0,1 Hz et supérieur à 30 jusqu'à 1 Hz.

Si l'on a affaire à une source fluctuant aléatoirement, la figure 9 montre l'amélioration qu'on peut obtenir à l'aide du dispositif proposé : les fluctuations résiduelles ne dépassent pas sensiblement celles du courant d'obscurité, bien qu'on n'ait pas pris la peine d'ajouter la résistance d'accord.

Étant donné les faibles dimensions des photoconductances, il est facile d'en insérer une dans un

montage quelconque. Il est généralement nécessaire d'introduire en outre un diviseur de faisceau semi-transparent, assurant l'éclairement de la photoconductance par un flux lumineux strictement proportionnel à celui servant aux mesures.

En ajustant la distance de la photoconductance à la source, il est facile d'amener sa résistance moyenne au voisinage du point de fonctionnement optimal.

L'ensemble de ces servitudes peut être considéré comme minime en comparaison de l'amélioration obtenue.

Manuscrit reçu le 11 mars 1966.
