

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Band:** 11 (1958)  
**Heft:** 7: Colloque Ampère

**Artikel:** Contribution à l'étude des pièges à électrons par l'effet photodiélectrique  
**Autor:** Roux, Jean  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738848>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Contribution à l'étude des pièges à électrons par l'effet photodiélectrique

par Jean ROUX

Laboratoire de Luminescence, Paris

---

On trouvera dans cette communication une tentative d'explication d'une expérience du professeur Freymann et de ses collaborateurs [6], qui me paraît se rattacher à l'effet photodiélectrique. En étudiant les variations de  $\epsilon''_M$  pendant l'échauffement régulier d'un ZnO polycristallin, ces auteurs ont observé la présence d'une bande double vers 40° K avec l'oxyde non activé, et avec des fréquences de mesure comprises entre 1 et 100 KHz. L'addition de cuivre comme activateur (dopage) la faisait disparaître. Tout se passe comme si les dipôles intervenant dans cette expérience étaient des pièges ayant capté un électron pour une cause non établie. Toutefois, on ne peut considérer que la bande située vers 40 KHz est la manifestation d'un groupe d'électrons captés dans des pièges de caractéristiques identiques, car il faudrait admettre que l'activateur se comporte comme un poison (killer) pour ce groupe, ce qui paraît peu probable étant donné qu'il renforce considérablement une autre bande (vers 120° K).

En outre, le fait que  $\epsilon''_M$  conserve une valeur relativement importante entre les pics montre que les propriétés diélectriques des pièges sont réparties continûment dans un large intervalle. C'est ce qui m'a conduit à rechercher une distribution de pièges donnant naissance à des bandes vers 40 et 120° K pour les fréquences de mesure indiquées, cette distribution devant être telle que l'apparition de certains pièges supplémentaires fasse disparaître la bande située vers 40° K. J'ai obtenu des résultats en bon accord avec l'expérience (fig. 2) en faisant les hypothèses ci-après.

1. Comme je l'ai déjà souligné à plusieurs reprises [3, 5], il est nécessaire, pour expliquer l'effet photodiélectrique de première espèce, de supposer que les pièges sont des assemblages de trous de potentiel: il faut une énergie  $E_1$  à l'électron piégé pour passer d'un trou à un autre à l'intérieur du même piège, et une énergie  $E_2$  pour qu'il passe dans la bande de

conduction. On se rapproche ainsi d'un modèle de dipôle examiné par le professeur Fröhlich [2]. La profondeur  $E_1$  intervient dans la seule permittivité, tandis que la profondeur  $E_2$  intervient dans la phosphorescence, dans la conductivité, et aussi dans la permittivité, dans la mesure où le passage d'un électron dans la bande de conduction entraîne la suppression d'un dipôle.

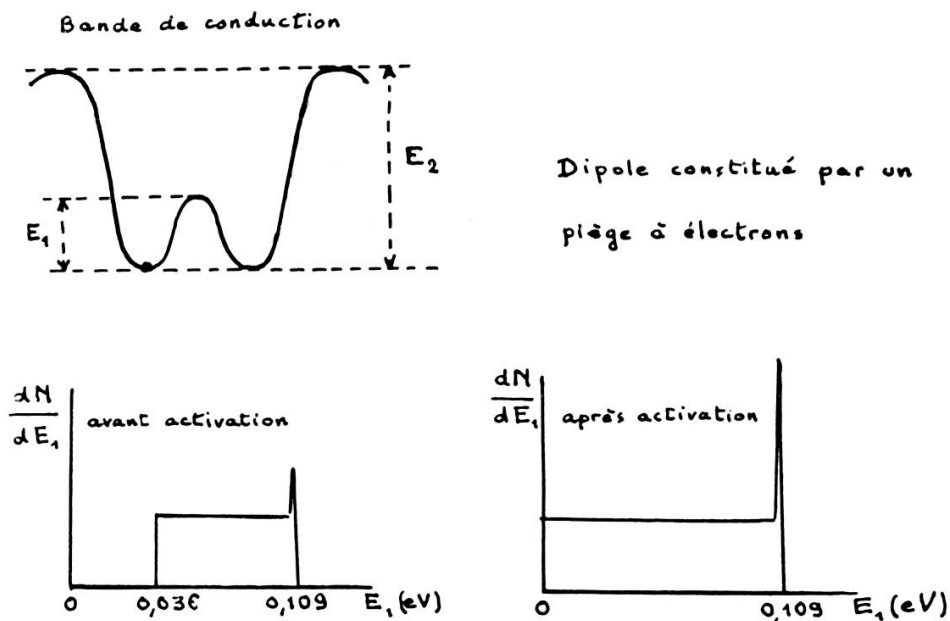


Fig. 1.

2. Aucune hypothèse particulière n'est faite sur la profondeur  $E_2$  sauf qu'elle est suffisante pour que le nombre d'électrons piégés intervenant dans cette expérience soit sensiblement constant jusque vers  $150^\circ$  K. (Cela signifie que les pièges intervenant dans cette expérience ne donnent naissance à aucune luminescence dans cet intervalle de température.)
3. A une profondeur  $E_1$  s'attache un temps de relaxation intrinsèque:

$$\tau_\Phi^* = (2s)^{-1} \exp(E_1/kT)$$

où  $s$  est la constante introduite par Randall & Wilkins [1]; je l'ai prise égale à  $10^9 \text{ sec}^{-1}$ .

4. Il y a additivité des contributions apportées à la permittivité complexe du cristal par les électrons piégés.

5. Les complexes polarisables constitués par les électrons piégés sont supposés d'égale polarisabilité.
6. Avant « dopage », on a affaire à une répartition uniforme des profondeurs  $E_1$ , commençant assez brutalement vers 0,036 eV, pour se terminer vers 0,109 eV par une pointe aiguë (fig. 1). Le début abrupt de cette répartition uniforme est à l'origine de la bande observée vers 40° K. La pointe aiguë donne naissance à la bande située vers 120° K.
7. Le « dopage » du phosphore se traduit par une prolongation de la répartition uniforme vers les faibles valeurs de  $E_1$ , ainsi que par un renforcement de la pointe aiguë de 0,109 eV.
8. Il est enfin nécessaire de faire intervenir l'hétérogénéité du diélectrique, les hypothèses précédentes ne conduisant pas au même résultat avec le monocristal. J'ai adopté un schéma d'hétérogénéité qui m'a déjà donné de bons résultats (modèle prismatique) [3].

Voici les relations utilisées :

Permittivité du phosphore avant l'addition du cuivre :

$$\widehat{\epsilon}_{\Phi} = \epsilon'_{\Phi\infty} + \frac{A_1}{1 + j \frac{\omega}{2s} \exp \frac{0,109}{kT}} + B \int_{0,036}^{0,019} \frac{dE_1}{1 + j \frac{\omega}{2s} \exp E_1/kT} .$$

Après l'addition du cuivre, la même équation reste valable, mais en prenant 0 comme limite inférieure de l'intégrale, et avec un coefficient  $A_2$  supérieur à  $A_1$ .

Passage de la permittivité du phosphore à celle de la poudre (modèle prismatique, référence 3):

$$\widehat{\epsilon}_M = \frac{\epsilon'_{\wedge}}{1 + v^2(1 - \beta)^2} \cdot \{ [1 + v^2(1 - \beta)] + j\beta v \} \cdot \left\{ \frac{1}{2} \log_e \frac{1 + v^2}{\beta^2 v^2} - j \operatorname{arctg} \frac{1}{v} \right\}$$

$\epsilon'_{\wedge}$  étant la constante diélectrique de l'enrobant: ici  $\epsilon'_{\wedge} = 1$

$$v = \epsilon'_{\Phi} / \epsilon''_{\Phi} \qquad \beta = \epsilon'_{\wedge} / \epsilon'_{\Phi} .$$

#### *Remarques*

- A. La quatrième hypothèse a été faite sans support théorique. Il ne me paraît pas opportun d'en chercher un tant que d'autres expériences n'ont pas confirmé sa validité.

B. L'étalement des bandes pour une fréquence de mesure donnée, la variation de la température du maximum d'une bande donnée en fonction de la fréquence de mesure dépend, entre autres choses, de la constante  $s$ ; il est facile de voir que plus  $s$  est grand, moins les bandes sont étalées, et moins grande est l'influence de la fréquence de mesure. L'évaluation

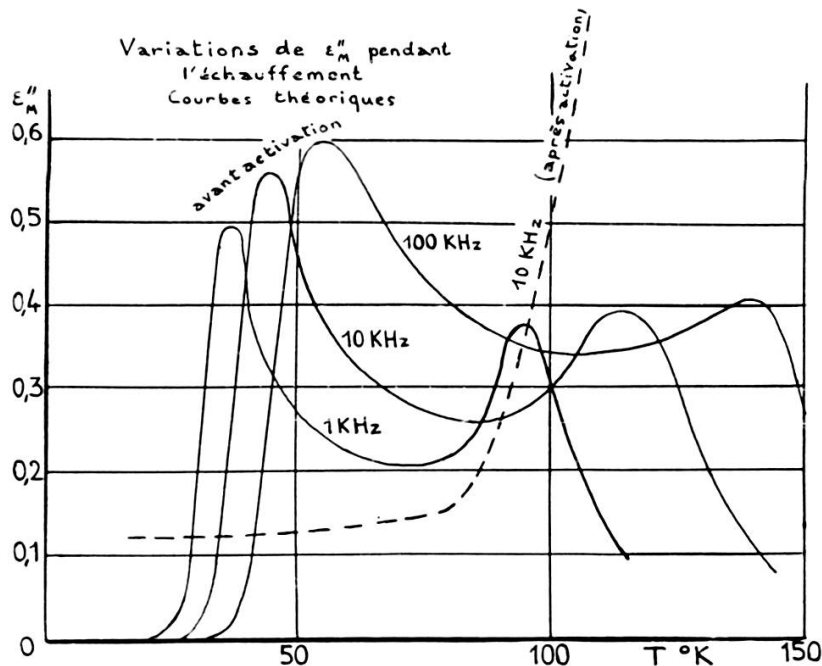


Fig. 2.

de  $s$  par l'effet photodiélectrique paraît possible, mais délicate. Mon calcul, fait en supposant  $s$  indépendant de la température, prévoit une trop grande influence de la fréquence de mesure sur la température du maximum de la bande située vers  $120^\circ$  K; cela laisse supposer que  $s$  augmente un peu avec la température.

- C. Vers  $40^\circ$  K, l'expérience donne une bande double pour chaque fréquence de mesure, avec le phosphore non activé. En outre, l'influence de la fréquence de mesure sur le dédoublement paraît trop grande pour qu'on puisse supposer que la valeur de  $s$  est la même que pour les deux composantes. On a sans doute affaire à deux répartitions uniformes, dans des domaines de  $E_1$  sensiblement voisins, mais avec des  $s$  différents.
- D. Il semble que des distributions analogues de pièges interviennent dans d'autres phosphores que ZnO. En particulier l'effet anti-Debye [7] paraît avoir pour origine une telle distribution, jointe à une répartition particulière des profondeurs  $E_2$  (calculs en cours).

1. RANDALL, J. T. et M. H. F. WILKINS, *Proc. Roy. Soc., A* 999, 184, 366 (1945).
  2. FRÖHLICH, H., *Theory of dielectrics*, Oxford, 1949.
  3. ROUX, J., *Ann. de Phys.* (1956), p. 493.
  4. — Colloque de Luminescence, Paris, 1956; *J. Phys. Rad.*, 17, 813 (1956).
  5. — Colloque « Halbleiter und Phosphore », Garmisch, 1956.
  6. FREYMAN, R., Colloque Ampère, 1957.  
BLANCHARD, M. L., J. LE BOT et H. CORNETEAU, *J. Phys. Radm.*, 17, 451 (1957).
  7. FREYMAN, R., E. GRILLOT, M. HAGÈNE, J. LE BOT, *C. R. Ac. des Sc. de Paris*, 245, 2261 (1957).
-