

Etude sur le Comportement de Certaines Emulsions Photographiques de Haute Résolution Eclairées par un Laser à Rubi Déclenché

N. G. GAGGIOLI* et J. FLEURET**

Recebido em 17 de Janeiro de 1980

Nous présentons une étude sur les caractéristiques de quelques émulsions photographiques de haute résolution éclairées par un laser déclenché. Nous avons étudié les courbes de Hurter et Driffield et les courbes de transmission en amplitude en fonction de la densité d'énergie incidente. En particulier, nous nous sommes intéressées à la zone de sous-exposition de la courbe H-D. Nous avons utilisé, comme source lumineuse, un laser à rubi déclenché (6943Å et 30ns d'impulsion). Toutes les courbes ont été tracées pour deux temps de développement différents.

Apresentamos um estudo sobre as características de algumas emulsões fotográficas da alta resolução iluminadas por um laser disparado. Estudamos as curvas de Hurter e Driffield e as curvas de transmissão de amplitude em função da energia incidente. Interessamo-nos particularmente pela zona de sub-exposição da curva de H-D. Utilizamos como fonte luminosa um laser de rubi disparado (6943Å e pulso de 30ns). Todas as curvas foram traçadas para dois tempos de revelação diferentes.

* Instituto de Ingeniería Biomédica (CONICET-UBA); Facultad de Ingeniería; Paseo Colon 850; 1063 Capital Federal; Argentina.
Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina.

Adresse actuelle: Laboratoire d'Optique; Université Pierre et Marie Curie; Tour 13, 3^e étage; 4, place Jussieu; 75230 Paris Cedex 05; France.

** Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications; 46, rue Barrault; Paris 13^eme; France.

1. INTRODUCTION

L'émulsion photographique est un des éléments les plus importants en holographie et traitement optique de l'information. Toute étude sérieuse dans le domaine des techniques mentionnées doit tenir compte du traitement photographique et des caractéristiques de l'émulsion utilisée.

L'objet de ce travail est d'étudier le comportement de certaines émulsions photographiques quand elles sont éclairées en lumière provenant d'un laser à rubi déclenché.

Nous avons étudié quelques émulsions de haute résolution très utilisées en holographie et en astronomie. En particulier, nous présentons les résultats expérimentaux obtenus pour les émulsions 14C70, 10E70, 14C75, 10E75 et 8E75 de Agfa-Gevaert.

Le travail expérimental a été réalisé en suivant les conditions suggérées par Agfa-Gevaert:

- a) Dispositif expérimental avec distances imposées par Agfa.
- b) Utilisation de diffuseurs et coins sensitométriques fournis par Agfa.
- c) Elimination quasi totale de la lumière parasite pendant l'exposition.
- d) Conditions de développement strictes,
 - température de révélateur: $20^{\circ}\text{C} + 0,5^{\circ}\text{C}$.
 - solutions utilisées préparées avec de l'eau distillée.
 - émulsions révélées immédiatement après l'exposition pour éviter l'évolution de l'image latente.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Pour trouver les courbes caractéristiques des émulsions, ou courbes H-D (Hurter et Driffield), nous avons utilisé le dispositif expérimental schématisé sur la Figure 1.

Nous avons utilisé deux coins sensitométriques fournis par Agfa: l'une de 24 degrés et l'autre de 7 degrés (Tableau I), et un verre dépoli très peu rugueux comme diffuseur.

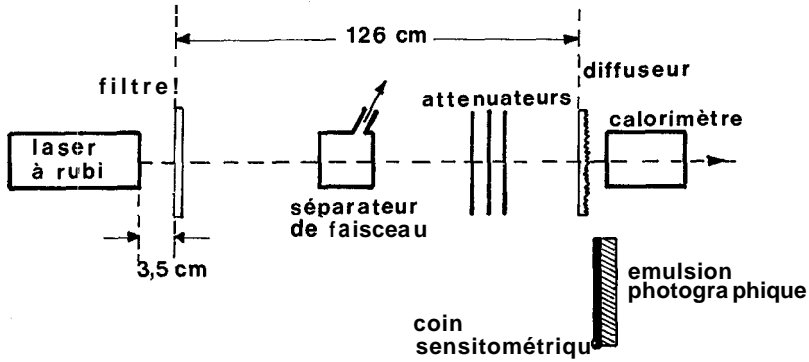


Fig.1 - Diagramme schématique du dispositif expérimental

Les émulsions ont été développées avec le révélateur Kodak D19B à 20°C immédiatement après l'exposition. Les courbes ont été tracées pour deux durées de développement: 3 minutes et 6 minutes.

L'émulsion 8E75 a été étudiée avec le révélateur Agfa-Gevaert G3P pour des temps de développement de 5 et 10 minutes.

Pour déterminer la courbe caractéristique d'une émulsion on a effectué successivement:

- 1) La mesure au microdensitomètre de chaque coin sensitométrique sur le film. De cette façon, on obtient la courbe sans référence en énergie.
- 2) La mesure de l'énergie absolu en utilisant: un calorimètre (47,2 uV/J) et un déviateur de silicium calibré (167 uV/J) à la sortie du laser.

3. TRANSMISSION EN AMPLITUDE

En holographie, on s'intéresse à la partie linéaire de la courbe $t = t(E)$ qui, en première approximation, peut se mettre sous la forme

$$t|\%| = t_0 - KE \text{ [erg/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

où K est la "pente holographique" et elle est reliée au coefficient de transfert de modulation $\tau_m = (\Delta t/\bar{t}) / (\Delta E/\bar{E})$ (voir Annexe) par

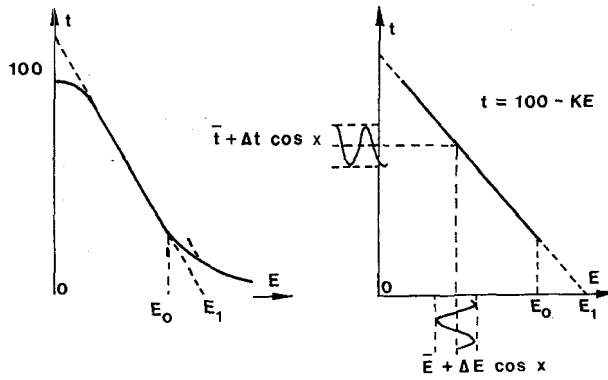


Fig.2 - Courbe représentative de la transmission en amplitude en fonction de l'énergie $t = t(E)$, et modèle utilisé pour nous.

$$\tau_m = K / (K - t_0 / \bar{E}) \quad (2)$$

où \bar{E} est l'énergie moyenne de la signal.

Le domaine d'énergie intéressant est $E < E_0$, pour lequel on peut parler de pente holographique. Nous appellerons seuil holographique la valeur E_0 (Figure 2).

Sur les Figures 2 et 3 nous avons fait apparaître les valeurs suivantes caractéristiques de l'énergie

a inertie

E_1 saturation ($E_1 = t_0 / K$)

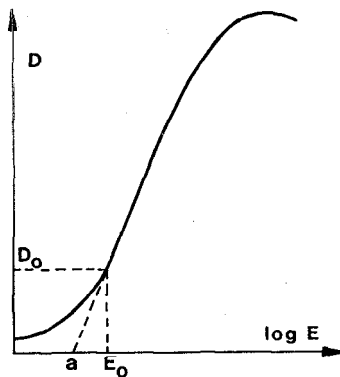


Fig.3 - Courbe de Hurter-Driffield et paramètres caractéristiques.

A partir de (1) et de l'expression donnant la zone linéaire de la courbe caractéristique, on peut montrer facilement (voir Annexe) que l'on a

$$\frac{E_0}{E_1} = \frac{\gamma}{2+\gamma} \quad (3)$$

4. ÉTUDE DE CERTAINES EMULSIONS A 6943A ET 30ns D'EXPOSITION

Pour étudier la zone holographique il est nécessaire de disposer de détecteurs sensibles dans ce domaine d'énergie, à la longueur d'onde avec laquelle on travaille, pour la durée de l'impulsion lumineuse, et d'avoir des atténuateurs convenables (dixièmes de dB).

L'énergie a été mesurée de la manière suivante:

- Pour pallier les inconvénients dus à l'inhomogénéité du faisceau laser, nous avons placé un diffuseur peu absorbant au contact de l'émulsion.
- On a mesuré l'atténuation du diffuseur à la fréquence lumineuse utilisée.
- On peut admettre, ce qui est vérifié expérimentalement, que la répartition d'énergie après le diffuseur est gaussienne⁴.

Dans ce cas, en tenant compte que dans la partie linéaire on a

$$D = \gamma \log \left(\frac{E}{\alpha} \right) \quad (4)$$

et en extrapolant la courbe résultante de telle sorte que $D(x_0) = 0$, la densité de noircissement dans l'émulsion est parabolique (Figure 4). Il n'est pas difficile de voir qu'on peut l'exprimer sous la forme

$$D = D_m \left(1 - \frac{x^2}{x_0^2} \right) \quad (5)$$

En admettant que la relation (4) est vérifiée, nous pouvons calculer l'énergie totale de l'impulsion lumineuse

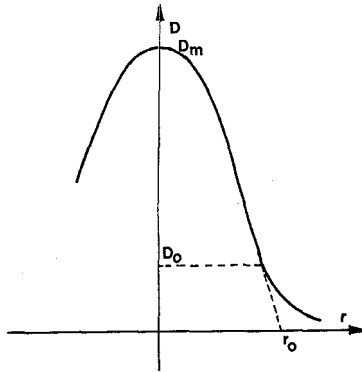


Fig.4 - Densité de noircissement en fonction du rayon.

$$E_T = \alpha \int_{\Sigma} \exp\left(\frac{2,3 D}{\gamma}\right) dS \quad (6)$$

en substituant (5) dans (6) et en résolvant l'intégrale, on a

$$E_T = \pi \alpha \left(\frac{\gamma r_0^2}{2,3 D_m}\right) \left(\exp\left[\frac{2,3 D_m}{\gamma}\right] - 1\right) \quad (7)$$

expression qui peut finalement se mettre sous la forme

$$E_T = \frac{S\alpha}{\gamma} (e^\alpha - 1) \quad (8)$$

où $S = \pi r_0^2$ et $\alpha = 2,3 D_m/\gamma$.

De la relation (8) nous tirons la valeur de "a" qui nous permet d'obtenir le point de référence nécessaire en énergie.

Nous avons opéré de la manière suivante:

- 1) On mesure E_T avec le calorimètre et le déviateur.
- 2) On mesure D_m sur le densitogramme.
- 3) On mesure r_0 en traçant les tangentes à la courbe $D = D(r)$ aux points $D_0 = \gamma \log (E_0/\alpha)$ correspondants au seuil holographique.
- 4) On mesure S directement au point d'impact ou on le calcule à partir du densitogramme.

Les courbes représentées sur les Figures 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14 correspondent à nos résultats expérimentaux.

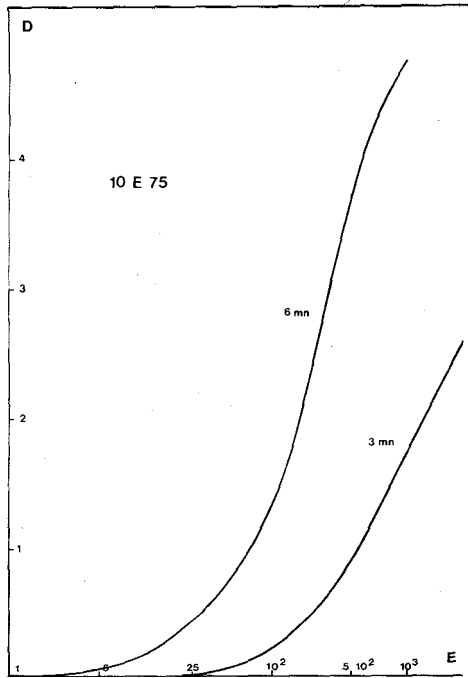


Fig.5 - Emulsion 10E75. Courbes caractéristiques $D = D(E)$ pour deux temps de développement différents: 3 et 6 min..

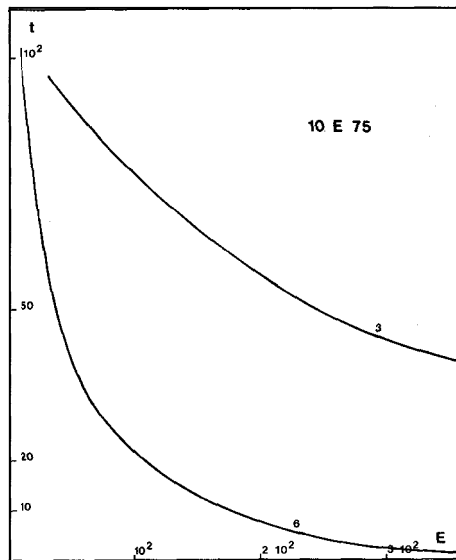


Fig.6 - Emulsion 10E75. Transmission en amplitude en fonction de l'énergie $t = t(E)$ pour deux temps de développement différents: 3 et 6 min..

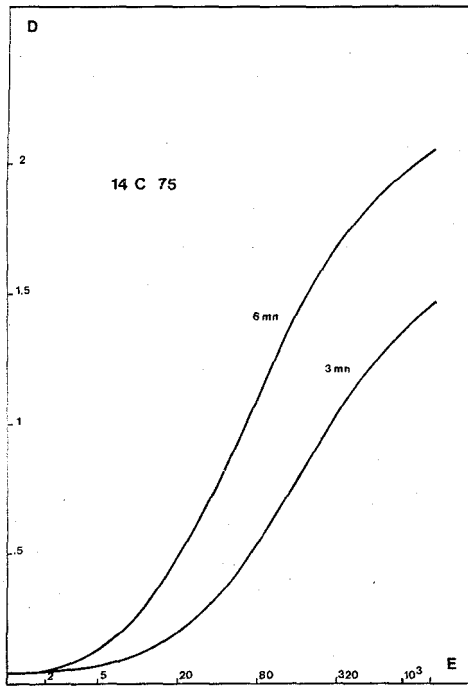


Fig.7 - Emulsion 14C75. Courbes $D = \mathcal{D}(E)$ pour 3 et 6 min. de temps de développement.

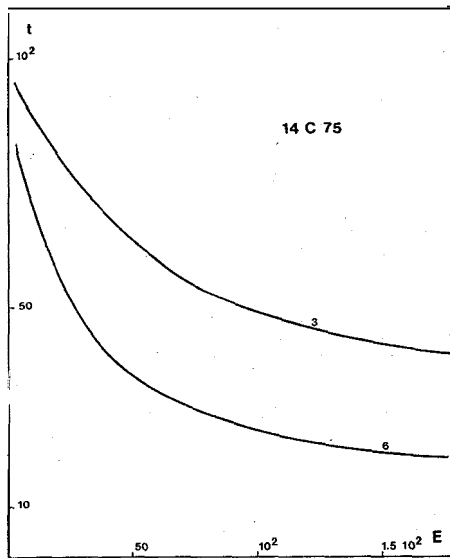


Fig.8 - Emulsion 14C75. Courbes $t = t(E)$ pour 3 et 6 min. de temps de développement.

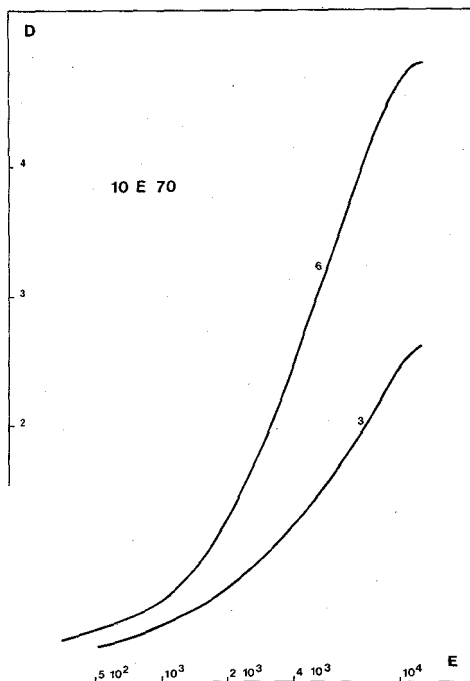


Fig.9 - Emulsion 10E70. Courbes $D = D(E)$ pour 3 et 6 min. de temps de développement.

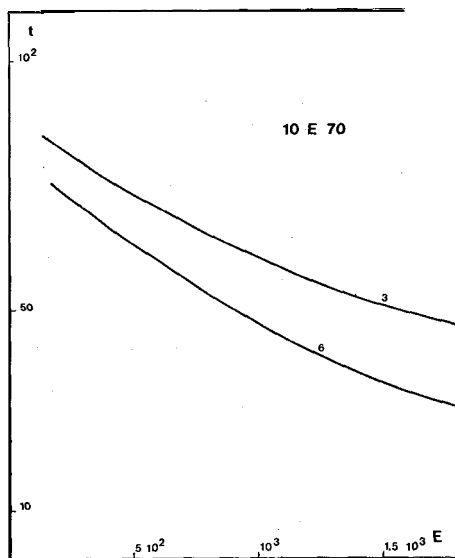


Fig.10 - Emulsion 10E70. Courbes $t = t(E)$ pour 3 et 6 min. de temps de développement.

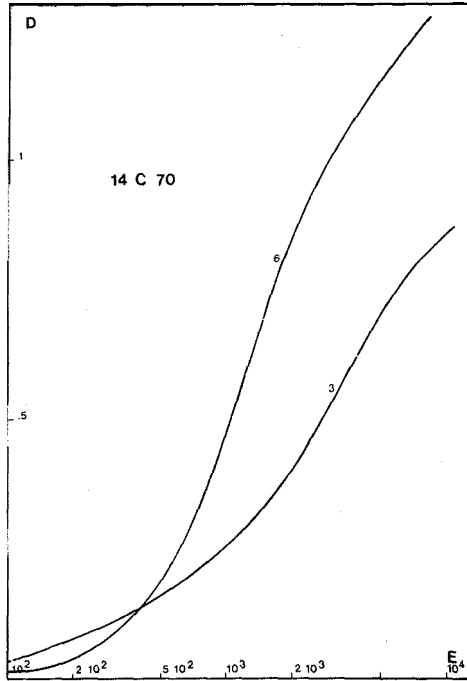


Fig.11 - Emulsion 14C70. Courbes $D = D(E)$ pour 3 et 6 min. de temps de développement.

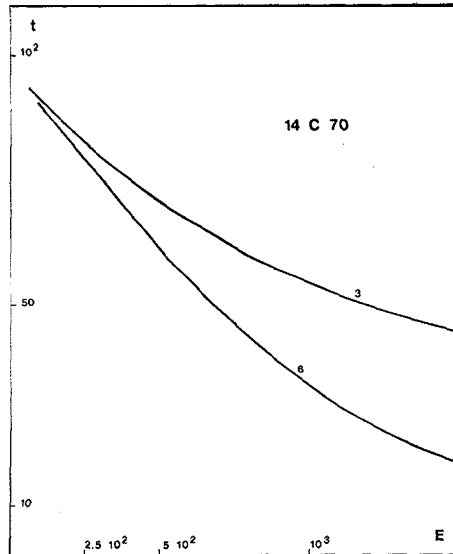


Fig.12 - Emulsion 14C70. Courbes $t = t(E)$ pour 3 et 6 min. de temps de développement.

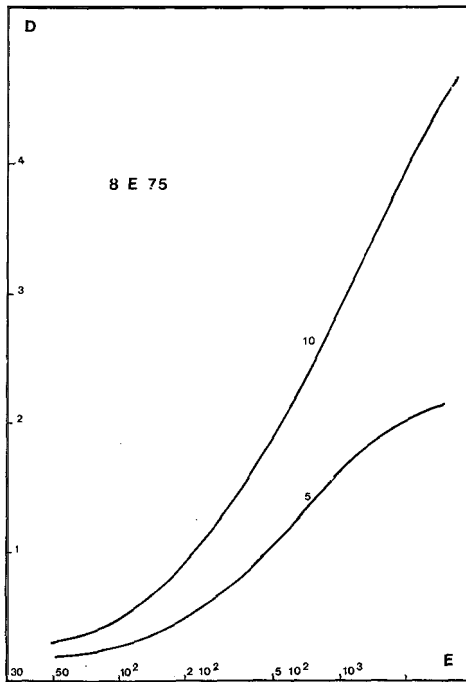


Fig.13 - Emulsion 8E75. Courbes $D = D(E)$ pour 5 et 10 minutes de temps de développement

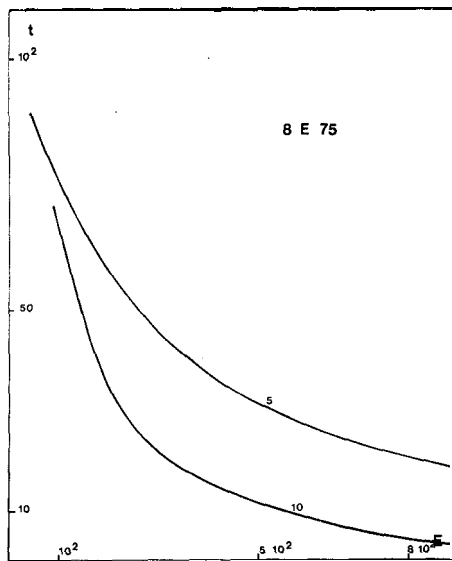


Fig.14 - Emulsion 8E75, Courbes $t = t(E)$ pour 5 et 10 min. de temps de développement.

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET CONCLUSIONS

Nous avons déterminé les courbes H-D et les courbes de transmission en amplitude pour cinq émulsions photographiques Afga-Gevaert.

Le Tableau 2 donne un résumé des résultats le plus intéressants.

On voit que la relation (3) est assez bien vérifiée, bien que le modèle représenté par la relation (1) soit seulement approché.

Cette relation nous a permis de mettre en évidence une série de résultats relatifs à la pente holographique:

- les pentes holographiques (K) varient beaucoup d'un film à l'autre, et aussi avec la durée de développement.
- les γ sont en général inférieurs à ceux estimés par Agfa.
- les erreurs de réciprocité sont fréquemment assez importantes.

Les erreurs expérimentales dépendent de la mesure de E_T , D_m , γ et r_0 . En admettant des majorations pour chaque erreur relative de l'ordre de 6%, il en résulte sur " α " une erreur relative

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \leq 30\%$$

Cependant, en faisant la moyenne sur un nombre important de mesures on peut arriver facilement à une valeur entre 15% et 20%.

ANNEXE 1

En holographie on s'intéresse à la partie linéaire de la courbe $t = t(E)$, c'est à dire à

$$t = t_0 - KE \quad (\text{A.1})$$

où K est la pente holographique

Nous pouvons assimiler la plaque photographique à un système linéaire qui fait correspondre les variations de transparence en amplitude t aux variations d'éclairement E .

On peut alors définir un coefficient de transfert de modulation

$$\tau_m = (\Delta t / \bar{t}) / (\Delta E / \bar{E}) = (\Delta t / \Delta E) / (\bar{E} / \bar{t}) \quad (\text{A.2})$$

de (A.1) et (A.2) on déduit

$$\Delta t = t - t_0 = -K\Delta E \quad (\text{A.3})$$

d'où

$$\tau_m = K / (K - t_0/E) \quad (\text{A.4})$$

ANNEXE 2

Dans le modèle représenté par la relation (A.1) nous pouvons introduire la valeur E_1 , abscisse à l'origine de la droite, c'est à dire

$$E_1 = t_0/K \quad (\text{B.1})$$

De plus,

$$D = \log(1/T) = -2 \log t \quad (\text{B.2})$$

En dérivant cette expression on obtient

$$dD/d(\log E) = \gamma \quad (\text{B.3})$$

Au point particulier E_0 il en résulte

$$\gamma = 2KE_0 / (t_0 - KE_0) = 2E_0 / (E_1 - E_0) \quad (\text{B.4})$$

et on obtient en définitive

$$E_1/E_0 = (2+\gamma) / \gamma \quad (\text{B.5})$$

BIBLIOGRAPHIE

1. P.Cazes; Rapport Technique DRME (1969).
2. J.Berny et G.Fortunato; Rapport Technique DRME (1970).
- 3) Ch. Apliri et al.; Rapport Technique Laboratoires de Marcoussis, C. G.E. (1969).
4. Ch. Aplin, J.Fleuret et N.G.Gaggioli; Rapport Technique Laboratoires de Marcoussis, C.G.E. (1970).

5. G.Vaucouleurs, J.Dragesco et P.Seime; "Manuel de Photographie Scientifique", Ed. Rev. d'Optique (1956).
6. J.Castle, W.Woodbury and W.A.Shelton; "High-Speed Photography", B. S.P. (1957).
7. M.Hercher and B.Ruff; JOSA 57, 103 (1967).
8. S.A.Freckska; Appl. Opt. 7, 2312 (1968).
9. R.O.Rice and J.D.Macomber[†]; JOSA 65, 1489 (1975).
10. N.G.Gaggioli; Informe Técnico IIBM 01/78 (1978).