

EFFETS LINÉAIRES ET NON-LINÉAIRES DANS LA RÉPONSE DES MATÉRIAUX HOLOGRAPHIQUES (*)

par HENRI THIRY
Chef de Travaux

ABSTRACT

The amplitude transmittance of holographic materials is measured for two types of patterns :

- 1° the object is a Ronchi ruling with spatial frequency varying from 2 till 100 c/mm.
- 2° the pattern is the light distribution produced in a two-beam interference.

Results indicate that linear transfer theory is only applicable to the case of the copy of the 2 c/mm ruling.

For the sine wave pattern, the amplitude transmission is not relevant with linear transfer even if the sample is immersed in a liquid with matching index.

INTRODUCTION

Les propriétés sensitométriques d'un matériau photographique peuvent s'évaluer par la courbe traduisant les variations d'amplitude transmise en fonction de l'exposition.

Cette courbe présente une partie quasi rectiligne dans un domaine d'exposition plus grand que lorsque l'on considère la courbe de la transparence en fonction de l'exposition.

L'analyse de FOURIER de la copie par contact du réseau de RONCHI de fréquence spatiale de l'ordre de 2 c/mm sur tous les types d'émulsion, y compris les émulsions holographiques, a montré qu'il était possible de reproduire sans distorsion appréciable une telle mire pourvu que la densité de l'image photographique ne soit pas trop élevée, c'est-à-dire très souvent inférieure à 0,6. La distorsion est alors mesurée par l'amplitude des harmoniques d'ordre pair. La réponse d'une émulsion à un signal carré de l'ordre de 2 c/mm peut donc être considérée, moyennant la réserve formulée ci-dessus, comme linéaire et ce, jusqu'à des fréquences spatiales de l'ordre de 100 c/mm.

L'extension du domaine des fréquences spatiales vers les plus hautes fréquences peut s'envisager au moins de deux manières différentes :

- 1° Par la copie de réseaux de Ronchi de fréquence spatiale de 100 c/mm à plusieurs centaines de cycles par mm.
- 2° Par la copie de mires sinusoidales formées par voie interférentielle.

(*) Travail effectué sous les auspices de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (Belgique).

Présenté par A. Hautot, le 20 janvier 1972.

Les causes principales de non-linéarité sont au nombre de trois :

- 1° non linéarité de la courbe amplitude-exposition.
- 2° effets d'adjacence relevant d'effets chimiques se produisant au cours du développement.
- 3° modulation de la phase de la vibration traversant l'émulsion photographique.

Cette modulation peut être superficielle et interne. L'effet de la modulation superficielle peut être fortement atténué par immersion de l'émulsion dans une cellule à faces parallèles. Quant à la modulation interne due à des variations d'indice de la gélatine, LAMBERTS [1] a pu la mesurer dans un domaine limité de fréquences, mais aucune technique n'a été proposée jusqu'à présent pour s'en affranchir.

Les mesures décrites dans ce travail se rapportent aux deux types de mires considérées ci-dessus : mires de Ronchi et mires sinusoïdales.

1. Copie de réseaux de Ronchi.

En principe, on mesure l'amplitude des composantes du spectre du réseau lui-même à l'aide d'un photogoniomètre dont la réponse est indépendante de la fréquence spatiale [2]. La copie par contact est effectuée en déposant le réseau de Ronchi sur l'émulsion. On expose à l'aide d'un trou de 3 mm de diamètre éclairé en lumière blanche et placé à une distance d'environ 75 cm du réseau. La fonction de transfert de modulation (FTM) du système de copie dépend de la distance d séparant l'émulsion du réseau : celle-ci est de l'ordre de 50 μm . Dans l'approximation géométrique, la FTM vaut :

$$\text{FTM} = \frac{J_1(2\pi f r)}{\pi f r} \quad (1)$$

où J_1 est la fonction de BESSEL d'ordre 1, r le rayon du cercle image correspondant à un point du réseau et f , la fréquence spatiale.

Cette fonction diffère très peu de l'unité jusqu'aux fréquences spatiales de plusieurs centaines de c/mm .

Tenant compte de la diffraction de la lumière par le réseau, on peut calculer une FTM du système de copie sur les bases suivantes.

L'éclairement incident est distribué dans la direction incidente et dans les directions diffractées $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ (fig. 1).

Les angles θ et les abscisses x sont calculés pour une longueur d'onde moyenne

Si $E'(x)$ est l'éclairement dû à un point A du réseau à la surface de l'émulsion, la FTM du système de copie vaut :

$$\text{FTM} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} E'(x) e^{i2\pi f x} dx}{\int_{-\infty}^{\infty} E'(x) dx} \quad (2)$$

On a :

$$\begin{aligned} E'(x) = E_0 + \frac{E_1}{2} \delta(x - x_1) + \frac{E_1}{2} \delta(x + x_1) \\ + \frac{E_2}{2} \delta(x - x_2) + \frac{E_2}{2} \delta(x + x_2) \\ + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

où E_0 correspond à l'éclairement non diffracté et E_1, E_2, \dots sont les éclairements diffractés dans les directions $\theta_1, \theta_2, \dots$. δ représente la fonction de Dirac.

Substituant dans (2) et utilisant le résultat

$$\int_{-\infty}^{\infty} E_1 \delta(x - x_1) e^{i2\pi f x} dx = E_1 e^{-i2\pi f x_1}$$

il vient :

$$FTM = \frac{E_0 + E_1 \cos 2\pi f x_1 + E_2 \cos 2\pi f x_2 + E_3 \cos 2\pi f x_3 + \dots}{E_0 + E_1 + E_2 + E_3 + \dots} \quad (4)$$

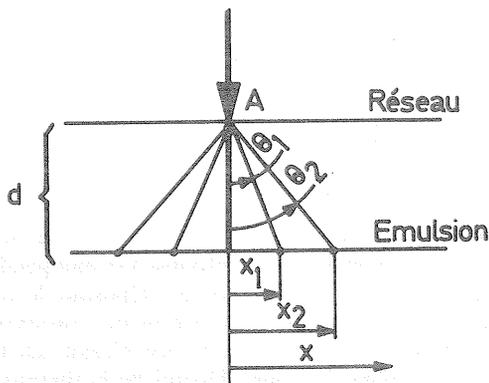


Fig. 1. — Schéma de la distribution de l'intensité lumineuse issue d'un réseau.

Les coefficients E_0 , E_1 , E_2 , E_3 sont mesurés au photogoniomètre.

Cette fonction vaut 0,98 à la fréquence de 100 c/mm dans le cas de la copie d'un réseau de 2 c/mm et ne joue donc pratiquement pas de rôle dans un tel cas.

La FTM intervenant dans la copie d'un réseau de 100 c/mm prend les valeurs suivantes :

TABEAU 1

FTM du système de copie d'un réseau de 100 c/mm.

100 c/mm	0,85
200	0,72
300	0,85
400	0,99
500	0,95

Cela étant, nous avons utilisé des copies sur l'émulsion 8E75 des réseaux de Ronchi de 2, 10, 32 et 100 c/mm dans des conditions d'exposition et de développement identiques. La densité est suffisamment faible pour que la distorsion soit négligeable dans le cas de la copie de 2 c/mm. Pour les autres réseaux, l'existence d'harmoniques d'ordre pair dans le spectre du réseau lui-même ne permet pas d'être aussi affirmatif.

On a reporté dans le tableau ci-après le rapport de l'amplitude du spectre de

la copie à l'amplitude correspondante du spectre du réseau lui-même; ce rapport est normalisé à l'unité à la fréquence fondamentale du réseau.

Enfin, les échantillons sont immergés dans un liquide d'indice voisin de celui de la gélatine.

TABLEAU 2

Transmission de l'amplitude par des copies de réseaux de Ronchi.

Copie du réseau de 2 c/mm		Copie du réseau de 10 c/mm		Copie du réseau de 32 c/mm		Copie du réseau de 100 c/mm	
2 c/mm — 1		10 c/mm — 1		32 c/mm — 1		100 c/mm — 1	
30	0,98	30	0,88	96	1,02	200	0,33
50	0,95	50	0,64	160	0,87	300	0,16
102	0,80	70	0,39	224	0,71	400	0,08
				288	0,35		

Ces résultats sont contradictoires, même si l'on fait intervenir la FTM du système de copie. Ainsi, par exemple à la fréquence de 50 c/mm, la réponse vaut 0,95, 0,64, ~ 1 , selon que l'on considère la copie des réseaux de 2, 10 et 32 c/mm.

Ces résultats différents traduisent une non-linéarité, soit dans la réponse de l'émulsion, soit dans la transmission optique du signal par le système de copie, les deux facteurs pouvant jouer un rôle simultanément.

Remarquons d'abord que le spectre du réseau de 2 c/mm vérifie la théorie des réseaux d'amplitude avec une précision de l'ordre du pour cent et ce jusqu'à la fréquence de l'ordre de 70 c/mm et avec une précision de l'ordre de 5 % pour des fréquences comprises entre 70 et 101 c/mm. Le réseau de 2 c/mm peut donc être considéré comme un *réseau d'amplitude*.

Le spectre du réseau de 10 c/mm vérifie beaucoup moins bien la théorie des réseaux d'amplitude. Si l'amplitude des premiers harmoniques correspond à l'amplitude théorique d'un réseau d'amplitude de même transparence et de même fréquence à quelques pour cent, la correspondance se détériore rapidement avec l'ordre de l'harmonique.

Quant aux spectres des réseaux de 32 et 100 c/mm, il n'est plus possible de parler d'accord entre le spectre des réseaux de Ronchi et le spectre de réseaux d'amplitude de même forme de transparence.

Les réseaux de 10, 32 et 100 c/mm, ainsi que ceux de fréquence plus élevée dont nous disposons, sont donc des réseaux d'amplitude et de phase simultanément.

L'enregistrement microphotométrique de la transparence des réseaux montre d'ailleurs une structure dans la partie transparente du réseau lorsqu'il s'agit des réseaux de 32 et 100 c/mm; voir, par exemple, référence [3].

En ce qui concerne les réseaux de 2 et 10 c/mm, aucune structure marquée n'apparaît dans l'enregistrement de la transparence.

Les enregistrements de la transparence des copies de réseaux de 2 et 10 c/mm montrent une oscillation de la transparence au bord du trait noir de la copie; cette oscillation est particulièrement bien marquée sur la copie du réseau de 10 c/mm.

Sur les enregistrements de la transparence des copies de réseaux de 32 et 100 c/mm, on note une structure dans la partie opaque des traits et même une structure dans la partie claire de la copie du réseau de 100 c/mm.

Les photographies microscopiques des copies confirment les conclusions des enregistrements microphotométriques (fig. 2 à 4).

La comparaison entre les spectres correspondant au réseau et à la copie photographique traduit un important effet non-linéaire qui semble devoir être attribué

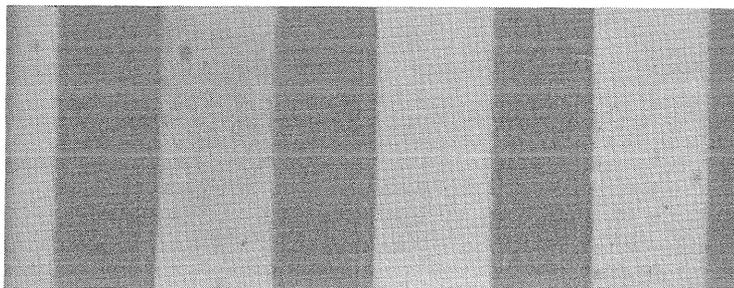


Fig. 2. — Copie par contact d'un réseau du type Ronchi de 10 c/mm sur l'émulsion 8E75.
Grandissement : 290 ×.

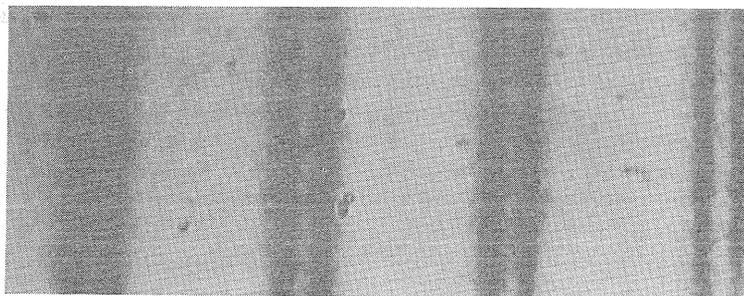


Fig. 3. — Copie par contact d'un réseau du type Ronchi de 32 c/mm sur l'émulsion 8E75.
Grandissement : 900 ×.

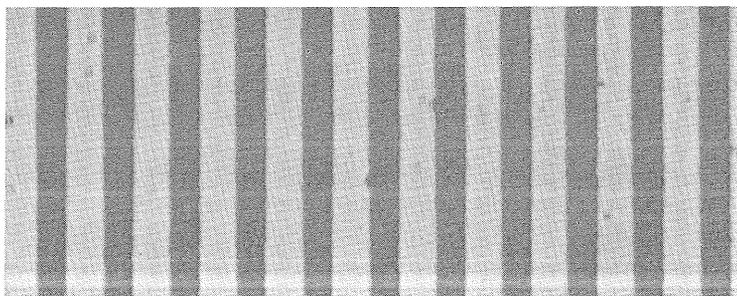


Fig. 4. — Copie par contact d'un réseau du type Ronchi de 1000 c/mm sur l'émulsion 8E75.
Grandissement : 900 ×.

à la structure du réseau lui-même et à la transmission optique du signal plutôt qu'à un effet d'adjacence. Cet effet d'adjacence se marquerait, en effet, d'une manière assez voisine dans le cas de la copie du réseau de 2 c/mm, ce qui n'est pas le cas.

D'ailleurs, nous avons tenté de voir si l'effet d'adjacence jouait un rôle quelconque dans les copies de réseaux de Ronchi. En particulier, la copie du réseau de 2 c/mm a été développée dans des conditions favorisant l'effet d'adjacence :

a) révélateur dilué 10 fois et développement sans agitation.

b) révélateur plus énergique que le révélateur normal et développement à plus haute température (23° C au lieu de 20° C), avec agitation.

On note un effet de bord peu accru et peu spectaculaire, au regard de celui visible sur la figure 2.

L'interprétation des effets de bord visibles sur la figure 2 relève donc de deux causes :

1° la transmission optique du système de copie qui conduit à la formation d'une figure de diffraction de Fresnel du bord d'un écran.

2° la structure déphasante du réseau et en particulier le profil du trait transparent.

La transmission de la phase dans le système de copie est incontrôlable, car elle dépend précisément de la forme des sillons du réseau.

Il résulte de l'étude de la copie par contact des réseaux de Ronchi que la théorie de la transmission linéaire n'est généralement pas applicable sauf au cas de la copie d'un réseau de 2 c/mm, ce réseau pouvant être considéré comme un réseau parfait d'amplitude.

On a essayé d'utiliser comme mire, non plus le réseau lui-même mais des copies photographiques de réseaux de 100, 200 et 400 c/mm. Les mêmes difficultés se présentent encore : les copies photographiques sont des réseaux d'amplitude et de phase et la théorie de la transmission linéaire n'est pas applicable aux phénomènes envisagés.

2. Copie de signaux sinusoïdaux.

Les signaux sinusoïdaux sont formés à l'aide d'un miroir de Lloyd éclairé par un laser He-Ne. La copie photographique ainsi réalisée constitue l'hologramme d'un point situé à l'infini. Nous parlerons très souvent d'hologramme dans le sens qui vient d'être énoncé afin de rappeler que les résultats obtenus dans cette étude s'appliquent aux hologrammes.

Le miroir aluminisé a un coefficient de réflexion de l'ordre de 0,88 en lumière visible. ce qui conduit à une modulation des franges égales à plus de 0,99, la modulation étant définie par le rapport $\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ où I_{\max} et I_{\min} sont les intensités maxima et minima des franges.

La transmission linéaire de l'amplitude d'un tel signal n'a de chance d'être réalisée que si on limite la densité de l'image photographique. Même en limitant cette densité à une valeur de 0,3 à 0,4, on n'évite pas une distorsion importante aux basses fréquences spatiales.

Dans la recherche des conditions d'applicabilité de la théorie de la transmission linéaire de l'amplitude, nous avons opté pour un signal sinusoïdal de modulation

suffisamment petite pour que l'analyse harmonique du signal photographique ne donne lieu qu'au seul terme fondamental.

Les conditions expérimentales suivantes réalisent très bien cette linéarité dans le cas des émulsions Scientia 8E75 d'Agfa-Gevaert et 649F de Kodak. On réalise une exposition uniforme qui donnerait lieu, après développement, à une densité de l'ordre de 0,4. On superpose alors à ce fond continu les franges d'interférence de manière à ce que la densité moyenne ne dépasse guère 0,5. Un calcul élémentaire fondé sur la courbe de H et D et sa différentielle, soit $\Delta D = 0,43 \cdot \gamma \frac{\Delta E}{E}$,

conduit à une modulation $\frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$ de l'ordre de 0,1.

NASSENSTEIN, BUSHMANN et GELDMACHER [4] ont attiré l'attention sur la dépendance de la modulation des franges d'interférence vis-à-vis de l'orientation du champ électrique des ondes qui interfèrent. Il résulte de leur étude que lorsque le champ électrique est perpendiculaire au plan d'incidence des rayons, la modulation est indépendante de l'inclinaison du miroir de Lloyd. Les corrections à apporter pour que l'exposition reste constante sont dues aux pertes par réflexion de Fresnel sur la surface de l'émulsion et à la perte de flux intercepté par l'émulsion au fur et à mesure que l'inclinaison du miroir augmente.

Ces corrections sont été évaluées sur la base d'un indice de réfraction égal à 1,64 [4] (*).

TABLEAU 3

Correction affectant l'exposition en fonction de l'angle du miroir de Lloyd.

Angle formé par le miroir de Lloyd avec le rayon lumineux	Correction sur l'exposition en %
0	0
10	1,8
20	7,0
30	15,5
40	27,4
50	41,8
60	58,7

Les conditions expérimentales de la formation de « l'hologramme » sont donc, en bref, les suivantes :

- champ électrique \vec{E} perpendiculaire ou parallèle au plan d'incidence;
- modulation de l'ordre de 0,99 ou de l'ordre de 0,1.

La reconstruction s'effectue dans les conditions suivantes :

- champ électrique \vec{E} perpendiculaire ou parallèle au plan d'incidence.
- échantillon immergé ou dans l'air.

(*) Des mesures directes de l'indice d'une couche vierge par la méthode de Brewster ont montré, par après, que l'indice était de l'ordre de 1,57.

La figure 5 montre la transmission de l'amplitude a d'un signal sinusoïdal par l'émulsion 8E75 dans les conditions suivantes :

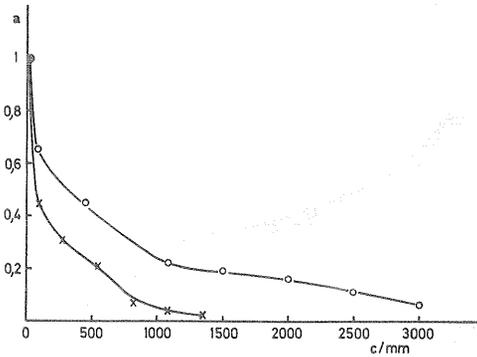


Fig. 5. — Transmission de l'amplitude (a) en fonction de la fréquence spatiale par l'émulsion 8E75 dans les conditions suivantes :

formation : — champ électrique \vec{E} parallèle au plan d'incidence; exposition non corrigée des pertes dues à l'inclinaison du miroir de Lloyd;
— modulation : 0,99.

reconstruction :

○ : dans l'air en lumière naturelle sous l'angle de Bragg.

× : même éclairage mais incidence normale.

distorsion pour ○ et × : $\sim 20\%$ à 25 c/mm.

Formation

- \vec{E} parallèle au plan d'incidence et exposition non corrigée des pertes dues à l'inclinaison du miroir.
- Modulation du signal incident : 0,99.
- Distorsion à 25 c/mm : 20 %.

Reconstruction.

- Dans l'air et en lumière naturelle.
- ○ : incidence vérifiant la loi de Bragg.
- × : incidence normale à l'émulsion.

On note que la réponse précédente ainsi que toutes celles qui suivront sont normalisées à l'unité à la fréquence de 25 c/mm.

On voit qu'il importe que la loi de Bragg soit vérifiée si l'on veut observer une amplitude diffractée aux hautes fréquences.

La figure 6 représente la transmission de l'amplitude de l'émulsion 8E75 dans les conditions suivantes :

Formation.

- \vec{E} perpendiculaire au plan d'incidence.
- ○ : valeurs non corrigées des pertes dues à l'inclinaison du miroir.
- □ : valeurs corrigées.
- modulation : $\sim 0,1$.
- × : idem à □ sauf modulation $< 0,1$.

Reconstruction.

- \vec{E} perpendiculaire au plan d'incidence.
- dans l'air.

La comparaison entre ces diverses courbes montre bien l'influence de la direction du champ électrique par rapport au plan d'incidence (*). Les valeurs de a sont inférieures dans le cas où \vec{E} est parallèle au plan d'incidence, la modulation étant alors une fonction en cosinus de l'angle d'inclinaison du miroir de Lloyd.

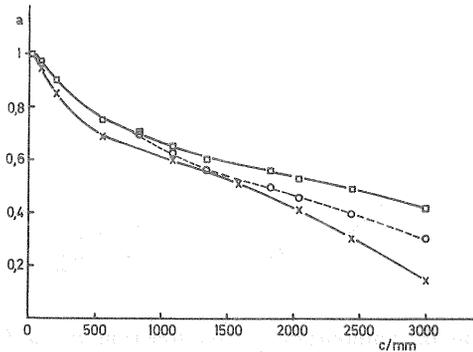


Fig. 6. — Transmission de l'amplitude en fonction de la fréquence spatiale par l'émulsion 8E75 dans les conditions suivantes :

formation : — \vec{E} perpendiculaire au plan d'incidence.
 reconstruction : — dans l'air — modulation : \circ et \square : 0,1; \times : $< 0,1$.
 \circ : exposition non corrigée } des pertes dues à l'inclinaison du miroir de Lloyd.
 \square : exposition corrigée }

La correction due aux réflexions et à l'inclinaison du miroir s'apprécie sur la figure 6 principalement aux fréquences supérieures à 1000 c/mm.

Enfin, la comparaison entre les courbes correspondant à deux modulations différentes mais suffisamment petites pour ne pas entraîner de distorsion traduit une réponse de l'émulsion dépendant de la modulation, la modulation la plus élevée conduisant à une transmission plus élevée.

La figure 7 traduit la réponse de l'émulsion 8E75 dans les conditions de formation identiques à celles de la figure 6. La reconstruction est opérée cette fois en immersion.

La réponse est encore fonction de la modulation, la modulation la plus élevée conduisant aux valeurs de a les plus élevées.

Les valeurs de a obtenues en immersion sont plus élevées aux basses fréquences que celles obtenues dans l'air; aux hautes fréquences, les écarts entre les valeurs obtenues dans l'air et celles obtenues en immersion subsistent en sens inverse.

En réalité, les valeurs de a non normalisées à l'unité sont toujours inférieures en immersion à celles obtenues dans l'air : à 25 c/mm, la valeur de a non normalisée passe de 0,62 (en immersion) à 0,69 (dans l'air) tandis qu'au-delà de 200 c/mm, l'écart entre les valeurs de a ne dépasse guère 0,01 sauf aux très hautes fréquences où des écarts notables ont été enregistrés.

On note encore une courbe de réponse de pente assez faible entre 1000 et 3000 c/mm dans le cas de la modulation égale à 0,1.

(*) La courbe inférieure a été présentée au Symposium de Besançon 1970, consacré aux applications de l'holographie, par H. THIRY.

Signalons qu'aucune correction due aux réflexions n'est apportée aux mesures obtenues en reconstruction car, en pratique, ces corrections ne peuvent évidemment pas être apportées en vue d'augmenter l'amplitude reconstruite.

Les figures 8 et 9 se rapportent à l'émulsion 649F de Kodak. La formation de l'hologramme est la même que celle correspondant à la figure 6, toutes les expositions étant corrigées des pertes de réflexion. La figure 8 correspond à une reconstruction dans l'air tandis que la figure 9 correspond à une reconstruction en immersion.

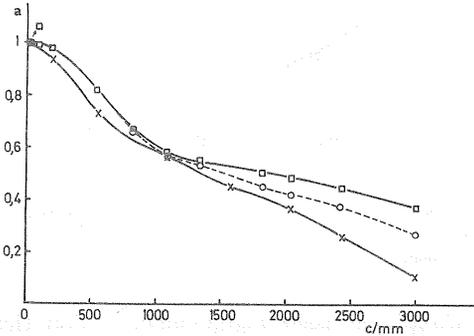


Fig. 7. — Transmission de l'amplitude par l'émulsion 8E75.
Formation : idem fig. 6.
Reconstruction en immersion : ○, □, × voir fig. 6.

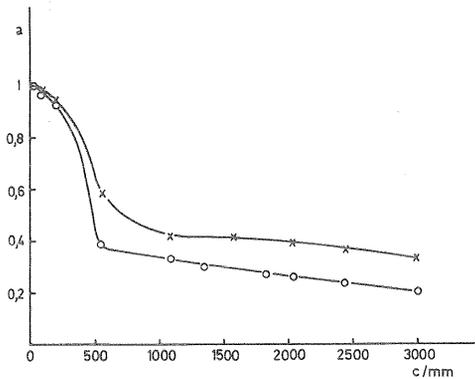


Fig. 8. — Transmission de l'amplitude par l'émulsion 649 F.
Formation : idem fig. 6, modulation : × : 0,1; ○ ; < 0,1.
Reconstruction dans l'air.

Dans l'air, les courbes de réponse sont plates entre les fréquences 1000 et 2500 c/mm environ, la réponse la plus élevée allant de pair avec la modulation la plus grande.

En immersion, les valeurs les plus élevées de a s'obtiennent aux basses fréquences pour la modulation la plus faible. Aux très hautes fréquences (> 1500 c/mm), la réponse la plus élevée s'obtient avec la modulation la plus grande.

De manière générale, la courbe de réponse obtenue dans l'air est supérieure

à celle obtenue en immersion : les valeurs obtenues en immersion étant toujours plus faibles que celles obtenues dans l'air et ce, à toutes les fréquences.

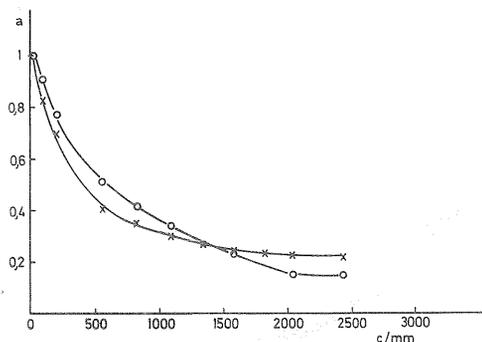


Fig. 9. — Transmission de l'amplitude par l'émulsion 649 F.
 Formation : idem fig. 8.
 Reconstruction : en immersion.

Cette conclusion s'explique assez logiquement si l'on tient compte des effets de phase dus à la gélatine superficielle. L'écart entre les valeurs de a obtenues dans l'air et celles obtenues en immersion est surtout important aux fréquences supérieures à 1500 c/mm. Il est étonnant que l'effet de l'immersion soit aussi important à de telles fréquences où les signaux photographiques ont une modulation faible et, partant, doivent entraîner de faibles variations d'incide et d'épaisseur de la gélatine.

3. Discussion de la linéarité dans la copie de signaux sinusoïdaux.

L'expérience a montré que la copie d'un signal sinusoïdal de contraste maximum ne peut pas se faire sans qu'il n'apparaisse une distorsion importante, même si on limite les amplitudes transmises par l'émulsion à la partie généralement considérée comme rectiligne de la courbe amplitude-exposition.

Lorsque la modulation du signal sinusoïdal est de l'ordre de 0,1, il est possible de reproduire sans distorsion un tel signal.

Cela étant, nous nous sommes demandé si la courbe de réponse obtenue après normalisation à l'unité pour une fréquence basse (25 c/mm) pourrait servir à caractériser la réponse du matériau holographique dans tous les cas de reproduction linéaire. En particulier, il importe de savoir si la courbe de réponse obtenue dépend de la modulation (faible) du signal et éventuellement de la densité.

Les courbes obtenues à deux modulations qui n'entraînent pas de distorsion sont suffisamment distinctes, aussi bien pour une reconstruction dans l'air que pour une reconstruction en immersion, pour que l'on doive faire intervenir un phénomène *non linéaire* entre la formation optique et la reconstruction.

Il semble que ce dernier phénomène doit être attribué aux variations de chemin optique dans l'émulsion photographique. Ces variations ont été étudiées par LAMBERTS [1] dans le cas de l'émulsion Panatomic-X et jusqu'à des fréquences de l'ordre de 80 c/mm.

Selon LAMBERTS, la variation de chemin optique résulte de la différence entre :
 — la variation de chemin optique due aux inégalités superficielles et

— la variation de chemin optique due à la variation de l'indice de réfraction dans la gélatine.

L'extrapolation de ces courbes aux fréquences supérieures à 80 c/mm fait d'abord apparaître une annulation de la variation de chemin optique puis une variation de chemin optique dépendant très fortement des variations d'indice. Comme l'immersion a pour effet de supprimer les variations de chemin optique dues à l'image superficielle, il est possible, ainsi que LAMBERTS le signale, qu'aux hautes fréquences, l'immersion soit précisément responsable de grandes variations de chemin optique.

Expérimentalement, l'immersion a pour effet de faire baisser la modulation de l'image reconstruite aussi bien aux basses fréquences, ce qui est connu, qu'aux très hautes fréquences ce qui était moins certain. Ainsi, à 2500 c/mm environ, on a observé une baisse de modulation de 15 % par suite de l'immersion de l'émulsion 8E75 dans le phtalate de butyle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] LAMBERTS R. L., *J. Opt. Soc. Am.*, **60**, 1389, 1970.
- [2] THIRY H., *Mém. Soc. Roy. Sc. Liège*, VI, p. 16, 1962.
- [3] THIRY H., *Mém. Soc. Roy. Sc. Liège*, VI, p. 26, 1962.
- [4] NASSENSTEIN H., BUSHMANN H. T., GELDMACHER J., *Optik*, **30**, 527, 1970.