

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 26 au 30 AVRIL 1977

SYSTEME DE TRAITEMENT OPTIQUE DU SIGNAL A TUBE PHOTOTITUS
APPLICATION AU SONAR ACTIF
OPTICAL PROCESSING OF TIME FUNCTIONS BY PHOTOTITUS IMAGING DEVICE
APPLICATION TO PHASE MODULATED SONAR SIGNALS

E. de BAZELAIRE - G. LEBRETON

LABORATOIRE GESSY - CENTRE UNIVERSITAIRE DE TOULON - 83130 LA GARDE

RESUME

RESUME

TRAITEMENT OPTIQUE COHERENT D'UN SIGNAL SPATIAL

Un système de Traitement Optique des Signaux en temps réel a été réalisé. Il comporte quatre parties :

- une transformation Temps-Espace d'un Signal $S(t)$ en modulation spatiale d'intensité lumineuse.
- une transposition incohérent-cohérent de cette image, à l'aide d'un tube Phototitus, en variation bidimensionnelle de biréfringence $B(x,y)$
- un montage optique à double diffraction utilisant des filtres spatiaux holographiques.
- une transformation Espace-Temps restituant le signal temporel filtré.

Cet exposé traite les deux dernières parties.

La fonction $B(x,y)$ est éclairée par une lumière spatio-temporellement cohérente et polarisée de manière que la lumière diffractée lui soit orthogonale. L'hologramme enregistré est un filtre adapté aux divers signaux à traiter. Il correspond à la juxtaposition horizontale de deux objets identiques et décalés verticalement d'une ligne.

La transformation espace-temps est faite par un tube vidicon couplé à un système de translation pupillaire. Celui-ci déplace digitalement la fenêtre de lecture pendant que le balayage du vidicon restitue le temps analogique. Le système de lecture permet d'afficher simultanément deux informations non corrélées.

Dans le cas du Sonar, le filtre est la T.F. de cent copies doppler du signal d'émission. A une ligne du vidicon correspond une distance de la cible et à un point de cette ligne la valeur de sa vitesse radiale.

SUMMARY

ABSTRACT

COHERENT OPTICAL PROCESSING OF A SPATIAL SIGNAL

A real-time optical processing is developed in four steps :

- time to space transformation, from a Signal $S(t)$, to a spatial modulation of luminous intensity.
- Incoherent-coherent conversion, using Phototitus Tube, into a map of birefringence $B(x,y)$.
- Optical processing, with two diffractions in line, using holographic matched filter
- Space to time transformation, restoring the time parameters of filtered signals.

This work presents the two last steps .

The birefringence function $B(x,y)$ is illuminated with a coherent source, polarised in such a way as the diffracted light must be orthogonal to it. The hologram used is a complex filter matched to the phase-coded signal. It is formed with two identical codes, placed by side with one of them beginning one line before.

The space into time transformation is performed by a vidicon tube, associated to a translation device of the reading window. This device makes a digital translation, while analogic time is encoded by the raster scanning of the vidicon. The reading process allows simultaneously two uncorrelated informations.

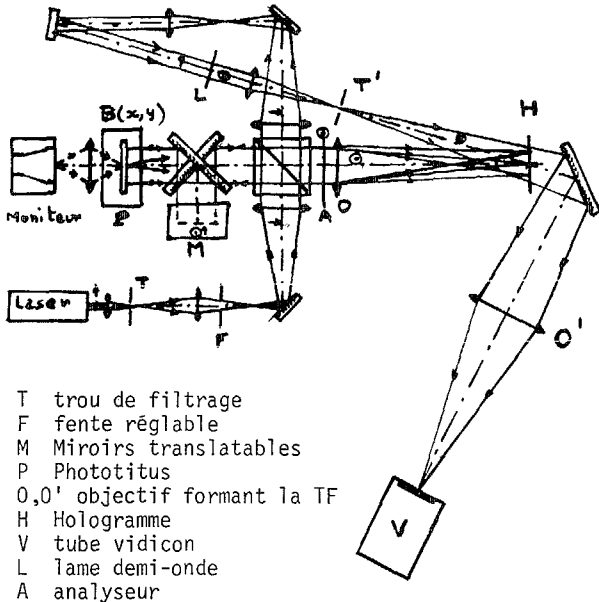
In the case of Sonar signals, the most faithful filter is the Fourier transform of one hundred doppler-shifted copies of the coded waveform. To the line of the vidicon corresponds one distance of the target, while its radial speed is indicated by the point on this line.



SYSTEME DE TRAITEMENT OPTIQUE DU SIGNAL A TUBE PHOTOTITUS
 APPLICATION AU SONAR ACTIF
 OPTICAL PROCESSING OF TIME FUNCTIONS BY PHOTOTITUS IMAGING DEVICE
 APPLICATION TO PHASE MODULATED SONAR SIGNALS

TRAITEMENT OPTIQUE COHERENT D'UN SIGNAL
 SPATIAL

I - LE MONTAGE OPTIQUE



- T trou de filtrage
- F fente réglable
- M Miroirs translatables
- P Phototitus
- O, O' objectif formant la TF
- H Hologramme
- V tube vidicon
- L lame demi-onde
- A analyseur

Le montage optique de traitement du signal utilisé est dans son principe un montage de double diffraction classique [4] : un premier objectif O forme dans le plan du Hologramme H la transformée de Fourier (TF) de la fonction B(x,y) située dans le plan P et un deuxième objectif O' forme dans le plan du vidicon V une deuxième T.F. de ce qui est dans le plan H.

Dans un premier temps l'objet B(x,y) inscrit sur le phototitus est le signal que l'on veut reconnaître. On enregistre dans le plan H l'hologramme de la transformée de Fourier complexe b(μ,ν) de cet objet, grâce au faisceau de référence r issu du trou T'. La plaque holographique étant un détecteur quadratique, l'intensité enregistrée et transformée en densité optique est de la forme :

$$d = |b(\mu, \nu) + r(\mu, \nu)|^2 = b \cdot b^* + r \cdot r^* + b \cdot r^* + r \cdot b^*$$

On remplace ensuite l'hologramme dans sa position initial.

Dans un deuxième temps, on inscrit sur le phototitus l'objet B'(x,y) composé du signal précédent et de bruit

$$B'(x,y) = B(x,y) + C(x,y)$$

Dans le plan de l'hologramme, la transparence d est alors éclairée par la fonction :

$$b'(\mu, \nu) = b(\mu, \nu) + c(\mu, \nu)$$

La lumière diffractée par la transparence H a donc pour amplitude

$$a = (b+c)(bb^* + rr^* + br^* + rb^*)$$

$$a = (b+c)(|b|^2 + |r|^2 + (b^2+bc)r^* + r[|b|^2 + cb^*])$$

Grâce à un filtrage angulaire, l'on ne garde, dans le plan du vidicon, que le terme de la T.F. de a qui est diffracté dans la direction de la référence r, soit

$$A = R * [B * B^* + C * B^*]$$

La taille du trou T' est telle que dans le plan de V, R = δ(x,y). Il reste donc :

$$A = B * B^* + C * B^*$$

qui est la fonction d'autocorrélation du signal de référence et son intercorrélation avec le bruit.

C'est dans sa réalisation particulière que le montage décrit ci-dessus prend de l'intérêt. Nous allons le décrire par éléments :

a) Au niveau imagerie [5]

On forme une onde plane spatio-temporellement cohérente sur le phototitus. L'image du trou source T se trouve dans le plan H. Une fente F réglable voit son image formée dans le plan du phototitus. Un système de déplacement de pupille M, formé de quatre miroirs dont deux forment un prisme rectangle translatable, permet de déplacer dans le plan de P l'image de la fente F de façon linéaire.

Après deuxième traversée de ce système de miroir, l'image de F reste fixe et centrée sur l'axe optique de l'objectif O à une distance fixe égale à la distance focale de O. Tout se passe comme si on translatait le phototitus dans un plan perpendiculaire à l'axe optique de O, ce qui permet, avec une fente étroite, d'analyser l'ensemble de la surface de B(x,y). Grâce à l'objectif O', on forme l'image du trou T' dans le plan du vidicon V.

b) Au niveau polarisation lumineuse [1]

La lumière incidente est polarisée linéairement.

Le cube séparateur est formé de deux prismes de verre collés, entre lesquels on a déposé un miroir multidielectrique. Il réfléchit 96% de la lumière polarisée horizontalement et 2% de la lumière polarisée verticalement. Il est équivalent à une biréfringence de 7° et un dichroïsme de 0,7 par transmission et de 0,8 par réflexion.

Les miroirs plans du montage sont à couche métallique protégée par une couche de silice. Chacun de ceux-ci est au niveau polarimétrique un opérateur biréfringence-dichroïsme qui dépend de l'angle d'incidence. Pour 45° d'incidence, la biréfringence est de l'ordre de 30° et son signe dépend du traitement du miroir. Le dichroïsme est de l'ordre de 0,9. Les axes du KDP* du phototitus sont à 45° de l'horizontale.

L'auteur a démontré [1] que la lumière diffractée à l'infini par une fonction de biréfringence B(x,y) a un état de polarisation indépendant de la fréquence spatiale de l'objet. Tout le spectre diffracté a donc la même polarisation.

L'amplitude diffractée dépend de la profondeur de modulation selon un développement en fonctions de Bessel. La position du pic diffracté dépend de la direction et de la valeur de la fréquence spatiale considérée. Enfin, si M est l'image sur la sphère de Poincaré de l'état de polarisation de la lumière incidente, l'image M' de la lumière diffractée se déduit de M par une symétrie par rapport à l'axe du biréfringent support de la fréquence spatiale (voir figure 2).

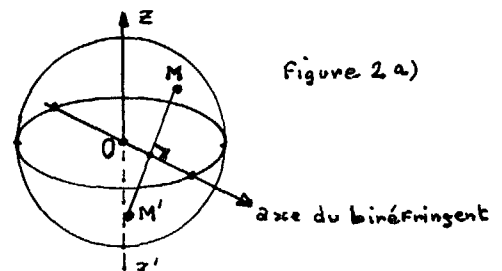


Figure 2 a)

SYSTEME DE TRAITEMENT OPTIQUE DU SIGNAL A TUBE PHOTOTITUS
APPLICATION AU SONAR ACTIF

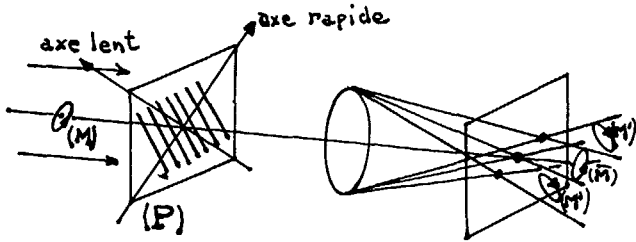


Figure 2 b)

Si l'on veut que la lumière diffractée soit orthogonale à la lumière incidente, c'est-à-dire M' diamétralement opposée à M sur la sphère de Poincaré, il faut et il suffit que M soit sur le grand cercle perpendiculaire à l'axe du biréfringent.

La procédure de choix de la lumière incidente est la suivante :

on mesure séparément les opérateurs de chaque composant optique et on fait le produit de ces opérateurs. On obtient l'opérateur équivalent à l'ensemble des éléments du montage et on s'arrange ensuite pour qu'à travers le produit d'opérateurs, la lumière diffractée soit orthogonale à la lumière incidente.

Dans le plan de l'objectif 0, on place un analyseur A qui ne laisse passer que la polarisation de la lumière diffractée. On peut ainsi empêcher la lumière non diffractée d'atteindre le plan H.

Enfin, sur le bras de référence, on place une lame demi-onde L qui a pour but de rendre l'état de polarisation de la lumière de ce bras identique à celui de la lumière diffractée par l'objet. Ainsi, lors de l'enregistrement de l'hologramme H, les franges fines servant à la diffraction pour l'autocorrélation n'apparaissent qu'aux endroits où il y a de la lumière provenant du signal. Les images parasites dues aux réflexions sur les optiques sont également éliminées par ce procédé.

Dans le plan H, comme nous l'avons vu plus haut, on trouve la transformée de Fourier de la fonction bidimensionnelle B(x,y). Cette T.F. étant différente de celle du signal S(t) incident, l'autocorrélation de B(x,y) dans le plan V sera également différente de celle de S(t) comme nous allons le voir maintenant.

II - L'AUTOCORRELATION [7]

a) Invariance par translation de temps t
Référence [2]

Du fait de l'écriture en plusieurs lignes du signal S(t), une translation de temps t provoque, à balayage identique sur le moniteur, une transformation de l'image bidimensionnelle B(x,y). Prenons, par exemple, un signal composé de

9 éléments isolés : A B C D E F G H I et le même signal décalé dans le temps d'un élément :
on obtient

Ecrivons ce signal en trois lignes.
La figure bidimensionnelle s'écrit (a) avec un temps

de décalage nul et (b) avec un décalage de un élément

	A B C		A B
(a)	D E F	(b)	C D E
	G H I		F G H
			I

Si l'on enregistre comme signal de référence la forme (a), la forme (b) ne sera pas reconnue par autocorrélation. Pour résoudre ce problème, on enregistre comme signal de référence la figure (c) composée du signal (a) et de sa copie translatée horizontalement de la longueur d'une ligne et verticalement de la largeur d'une ligne :

	1 2 3 4 5 6	
		A B C
(c)	A	B C D E F
	D	E F G H I
	G	H I

Pour éviter les ambiguïtés à temps nul, on élimine la première colonne. Le signal (a) se retrouve alors uniquement dans les colonnes 4,5,6. Le signal (b) se retrouve dans les colonnes 3,4,5. Le signal translaté de deux éléments se retrouve dans les colonnes 2,3,4. Le signal translaté d'une ligne se retrouve de nouveau dans les colonnes 4,5,6., mais translaté d'une ligne dans le sens vertical. Une translation spatiale de temps se retrouve donc, grâce à ce procédé en translation spatiale de signe contraire dans le sens horizontal et de même signe dans le sens vertical.

L'adjonction dans le plan objet d'une fente de largeur égale à celle du code décentré (par exemple 4 lignes dans la figure (b)) permet d'isoler la translation temporelle sur une seule ligne du vidicon V. Dans ce cas, si la ligne a une durée τ , tous les temps τ il faut décaler brusquement la fente d'analyse d'une ligne dans le sens vertical. Le temps analogique se retrouve alors donné par le nombre de décalage N de la fente depuis le début d'écriture ajouté à la longueur l du décalage sur la ligne finale de longueur L.

$$T = N \tau + \frac{\tau}{L} \cdot l = (N + \frac{l}{L}) \tau \quad (0 \leq l < L)$$

Ce système est intéressant, dans le cas du SONAR, quand on écrit sur le phototitius la totalité d'une séquence de réception comprise entre deux émissions successives. Cela laisse, pendant le temps mort d'émission, la possibilité d'effacer l'image déjà lue.

Dans le cas du Titus, où l'écriture d'une information efface la précédente, il est possible d'écrire en continu.

La correction de fin de ligne précédente peut alors être complétée par une correction de "fin de page" de la manière suivante :

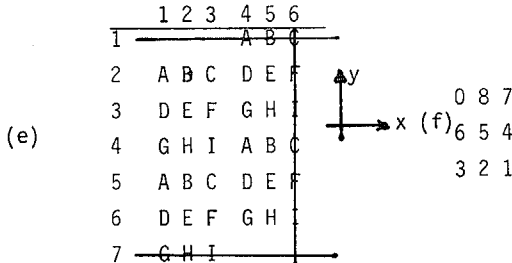
Nous disposons maintenant d'une fenêtre d'écriture de surface égale à celle d'un code. On écrit de façon continue et dès que l'on a atteint la fin de la dernière ligne du bas de page, on revient instantanément au début de la première ligne, la nouvelle écriture remplaçant l'écriture ancienne point par point .

Le code centré a de nouveau la forme (a), mais le code translaté d'un élément a maintenant la forme (d) :

	A B C		I A B
(a)	D E F	(d)	C D E
	G H I		F G H



Si l'on enregistre comme signal de référence les formes (a) ou (c), la forme (d) ne sera pas reconnue par autocorrélation. Pour résoudre ce problème on enregistre comme signal de référence la figure (e), composée de la figure (c) et de sa copie translatée verticalement du nombre de lignes du code centré :



pour éliminer les ambiguïtés, on efface la première et la dernière ligne, ainsi que la dernière colonne. Le signal (a) se retrouve alors dans les colonnes 1, 2, 3, et les lignes 2, 3, 4 ; le signal (d) se retrouve dans les colonnes 3, 4, 5 et les lignes 4, 5, 6 ; Le signal translaté de deux éléments se retrouve dans les colonnes 2, 3, 4 et les lignes 4, 5, 6 ; le signal translaté d'une ligne se retrouve dans les colonnes 1, 2, 3 et les lignes 4, 5, 6 ; le signal translaté d'une ligne plus un élément se retrouve dans les colonnes 3, 4, 5 et les lignes 3, 4, 5 et ainsi de suite.

Le codage de temps dans le plan du vidicon se retrouve sous la forme de la figure (f). La translation nulle du temps est notée 0 (code centré). La translation d'un élément du code est noté 1 et ainsi de suite. La translation numéro 9 est confondue avec la translation nulle. Une translation spatiale de temps se retrouve donc, grâce à ce procédé, en translation spatiale bidimensionnelle de signe contraire dans le sens des lignes et des colonnes.

Si l'on se souvient que l'autocorrélateur optique inverse lui aussi le signe des translations, on se retrouve en définitive, dans le plan du vidicon, avec une translation spatiale identique à la translation spatiale du plan objet du phototituis. Pour une translation supérieure à la longueur d'un code, on se réfère au nombre n d'images lues par le vidicon, soit un temps nT si T est le temps de lecture d'une image. A ce temps, il faut ajouter le nombre N de lignes, soit $N\tau$ et enfin la partie de ligne finale $\frac{\ell}{L}\tau$, si L est la longueur de la ligne et ℓ la longueur lue. Le temps complet t a pour valeur :

$$t = nT + (N + \frac{\ell}{L})\tau$$

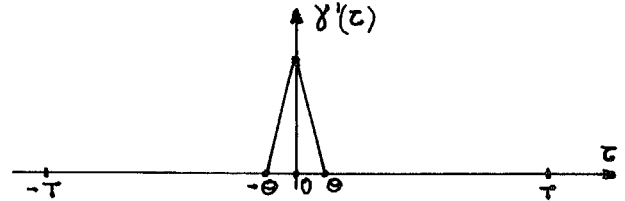
b) Forme du pic d'autocorrélation

Supposons que l'on ait enregistré et remis en place l'hologramme de la figure (e) et que l'on écrit ensuite un code de la forme (a). Dans le plan de V , on va obtenir l'inter-corrélation de (e) par (a). C'est une fonction bidimensionnelle $\gamma(x,y)$ et nous devons la comparer à la fonction d'autocorrélation $\gamma'(z)$ du signal initial $S(t)$.

Pour simplifier les conclusions, nous allons faire l'hypothèse [6] que la fonction $\gamma'(z)$ admet un pic central unique dont la largeur 2θ est très petite devant la durée τ d'une ligne du balayage

bidimensionnel. Cette hypothèse correspond au choix des codes $S(t)$ utilisés dans la réalité.

Prenons par exemple pour θ la largeur d'un élément de la figure (a). Dans ce cas, la fonction $\gamma'(z)$ est de la forme :



La section par le plan γox de la fonction $\gamma(x,y)$ va alors avoir exactement le même profil. En effet, une translation de θ de la figure (a) par rapport à la figure (e) à partir d'une position centrale de 2ème colonne et 3ème ligne annulera l'autocorrélation. La largeur à mi-hauteur de la fonction d'inter-corrélation $\gamma(x,y)$ est égale à celle de la fonction d'autocorrélation $\gamma'(z)$ et elle est égale à celle de l'autocorrélation de l'élément du code d'origine.

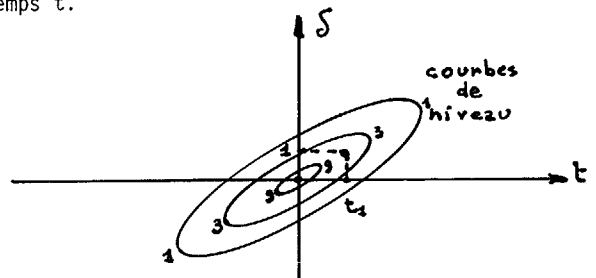
La section par le plan γoy de la fonction $\gamma(x,y)$ a, pour les mêmes raisons, un profil identique à celui de la section par le plan γox , si on a pris soin que la hauteur de la ligne soit égale à la longueur de l'élément du code. Cela correspond au maximum de densité d'information. En effet, dans les codes utilisés, on a vu plus haut que la taille de l'élément du code est limitée inférieurement par la taille du spot d'écriture.

La taille minimale du pic de la fonction $\gamma(x,y)$ est donc celle de l'autocorrélation du spot d'écriture.

III - FILTRES MULTI-DOPPLER - FONCTION D'AMBIGUITE

Dans le cas de l'application au signal SONAR on s'intéresse à des signaux $S(t)$ ayant subi un effet doppler. Le choix des signaux utilisés est alors régi par leur fonction d'ambiguïté temps-doppler.

Une telle fonction est décrite par l'amplitude de l'intercorrélacion fonction du doppler et du temps t .



Si le seuil de détection est, par exemple de 3, le doppler 1 sera détecté par le récepteur sur le doppler 0 avec une erreur de temps t_1 .

Il est nécessaire, si l'on veut avoir une détection optimale de tous les échos dopplérisés, de comparer l'écho à une série de copies doppler du signal d'origine $S(t)$.

Pour cela, pour chaque copie doppler du signal, on fait un tableau de la forme (e) et, sur



SYSTEME DE TRAITEMENT OPTIQUE DU SIGNAL A TUBE PHOTOTITUS
APPLICATION AU SONAR ACTIF

un même hologramme, on superpose tous ces tableaux à l'aide de deux poses successives. La première page à holographier contient, écrits les uns au dessus des autres, les tableaux des dopplers impairs, par paquets de deux fois le nombre de lignes du code. La deuxième page contient, écrits de la même manière mais décalés de la hauteur d'un code, les dopplers pairs. Les autocorrélations des divers dopplers vont se retrouver ainsi situées les unes au-dessus des autres de façon continue, dans le plan de V, et dans un ordre croissant.

Le codage temps-doppler dans le plan de V est alors le suivant :

```

etc
0 8 7
⑥ 5 4 (doppler (1))
3 2 1
0 8 7
6 ⑤ 4 (doppler (0))
3 2 1
0 8 7
6 5 ④ (doppler (-1))
3 2 1
etc
  
```

Les chiffres de même valeur, situés dans une même colonne correspondent au même temps d'arrivée. Le choix de la ligne donne le doppler. La réponse du doppler zéro à l'ensemble du filtre sera, par exemple, de 9 pour le point 5 du doppler (0) et de 3 pour le point 4 du doppler (-1) et le point 6 du doppler (1). Cet ensemble de points constitue la réponse de l'appareil complet à un code incident quelconque. Il se retrouve pour tous les temps et tous les dopplers, sauf en fin de ligne où l'ordre change. Par exemple on comparera avec une réponse de 9 pour le point 4 du doppler (0) et de 3 pour le point 3 du doppler (-1) et de 3 pour le point (5) du doppler (+1)

IV - LE SYSTEME DE LECTURE

Le système de lecture est constitué d'une caméra de télévision munie de son tube vidicon. Elle délivre un signal fonction du temps. Le balayage est beaucoup plus rapide que celui de l'inscription sur le phototitus. On peut ainsi démultiplexer les informations qui arrivent en continu à l'aide de compteurs et de portes. Par exemple, on peut sortir autant de voies en parallèle qu'il y a de doppler, le temps étant alors analogique sur chaque voie.

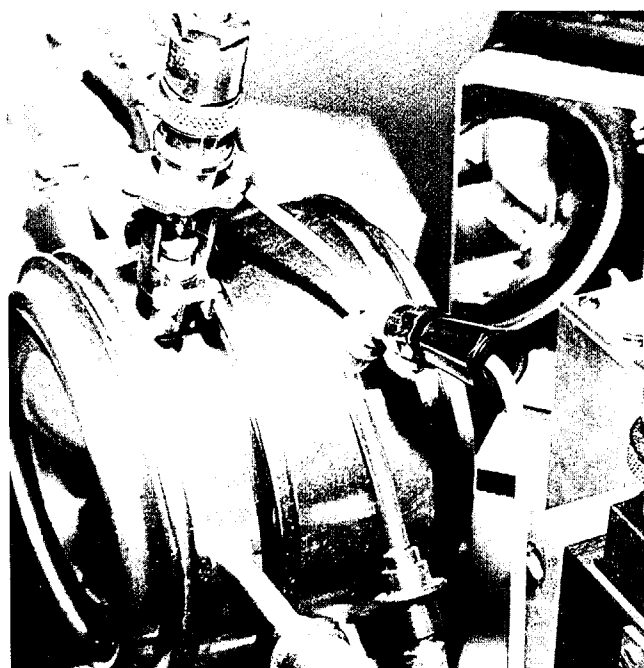
V - CONCLUSION

Il est déjà bien connu [3] que les systèmes de traitement optique du signal sont beaucoup plus rapide et moins encombrants que les systèmes électroniques faisant le même travail à partir d'une densité d'information minimale où les deux systèmes sont compétitifs. Il faut insister par contre sur le fait que les systèmes optiques sont d'une grande souplesse d'emploi. La réalisation des filtres holographiques peut, en effet, être faite en laboratoire avec un montage non vibrant. Mais une fois les filtres réalisés, les appareils d'exploitation des filtres ont des tolérances bien plus larges, la détection au niveau du filtre se faisant à la vitesse de la lumière. D'autre part, un même montage optique peut servir à la pré-formation des voies ou à l'autocorrélation multi-

doppler, ou aux deux à la fois. La limitation du système est définie par le nombre d'informations par seconde dont on dispose. Dans notre cas, ce nombre est de 2 millions de points, 20 niveaux par point et 25 images par seconde, soit une bande passante de l'ordre du Gigahertz.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] - Eric de BAZELAIRE - Contribution à l'étude de la polarisation et de la cohérente temporelle en interférométrie. Représentation des phénomènes - applications.
Thèse de doctorat d'Etat, 30/9/74 (n° CNRS A0 10522)
- [2] - David CASASENT and Dick KESSLER : Optical signal processing using long coded waveforms. Optics communications - vo. 17, n° 3, June 76 , p. 242-244
- [3] - David CASASENT - A hybride Coherent Optical Processor. Proceedings of the S.P.I.E., Vol.52. Coherent optical processing - Meeting August 21-22, 1977, p. 48-53 - San Diego - California -
- [4] - M.FRANÇON - Holographie - Masson et Cie France 1969
- [5] - W.T. CATHEY - Optical Information processing and holography - John Wiley and sons, Editor, 1974 -
- [6] - C.S. WEAVER and all -The optical Convolution of time Functions - Applied Optics - Vol. 9, n° 7, July 1970, p. 1672-1682 .
- [7] - Optical and Electro-Optical Information Processing - M.I.T. Press 1968.



LE TUBE PHOTOTITUS

