

# COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE CALCUL DE LA  
FONCTION D'AMBIGUITE EN COMPRESSION

J. LIENARD - G. LOUBET

CEPHAG B.P. 15 - 38040 - GRENOBLE CEDEX

## RESUME

Le calcul de la fonction d'ambiguïté en compression a été abordé par des méthodes numériques, électroniques et optiques. Nous proposons une réalisation électronique utilisant sur deux voies des registres à décalage tournant à deux vitesses différentes. Nous faisons alors la corrélation de signaux quantifiés et interpolés à l'ordre zéro après échantillonnage. Nous comparons l'influence du pas d'échantillonnage et du nombre de niveaux de quantification sur la précision du calcul et déterminons ainsi une configuration optimale de l'ambiguïmètre.

La réalisation optique utilise la variation du grandissement de l'image restituée par un hologramme pour simuler la compression. L'intégration spatiale de la lumière de cette image, après modulation par une transparence mobile représentant le signal non comprimé, fournit un point de la fonction d'ambiguïté. L'étude pratique et théorique du procédé nous a permis de déterminer sa capacité maximum de traitement.

Ces deux études, ainsi que les essais de calculs numériques, nous permettent de comparer les capacités de traitement, la rapidité et la facilité de mise en oeuvre des différentes méthodes dans l'état actuel des technologies impliquées.

## SUMMARY

Calculating of the time compressed ambiguity function has been performed by means of numerical, electrical and optical methods. We propose an electrical device utilizing two independent channels on which shift registers run at two different speeds. We then make an after sampling correlation of signals quantified and interpolated at zero order. We compare the effect of varying both the sampling interval and the number of quantification levels on the precision of the calculation and thus determine an optimal configuration of the "ambiguimeter".

The optical device utilizes the variation of magnification of the image restituted by a hologram for the simulation of the time-compression. The spacial integration of the light of this image, after modulation by a mobile transparency representing the signal without time-compression, gives a point of the ambiguity function. The practical and theoretical study of the process made it possible to determine the maximum processing capacity.

These two studies, as well as the numerical calculation tests, enable us to compare the capacities of processing, the rapidity and the easiness of implementing different methods with respect to present technology.

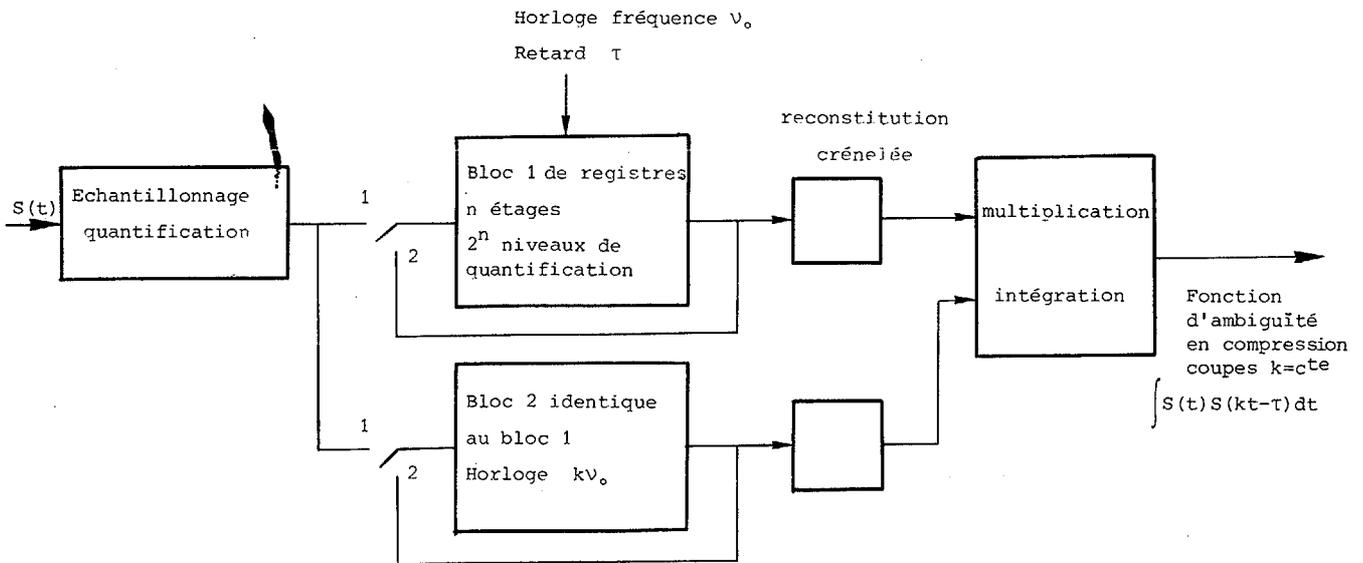


COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE CALCUL DE LA FONCTION  
D'AMBIGUITE EN COMPRESSION.

La fonction d'ambiguïté en compression  $\int S(t)S(kt-\tau)dt$  chiffre le pouvoir de résolution en distance et en Doppler d'un signal  $S^R(t)$ . Elle est directement liée aux problèmes de "détection active" et intervient dans la théorie de l'estimation des paramètres. Le calcul de cette fonction constitue donc un problème très actuel. Nous nous proposons dans cette étude de comparer des méthodes électroniques, optiques et numériques.

1 - DISPOSITIF ELECTRONIQUE

La réalisation électronique préconisée est particulièrement simple. Nous proposons d'utiliser deux ensembles de registres à décalages statiques dans lesquels on stocke à l'enregistrement la tranche de signal  $S(t)$  dont on veut tester les performances donc calculer la fonction d'ambiguïté. Il suffira de lire les deux séries de registres à des fréquences différentes pour obtenir les signaux  $S(t)$  et  $S(kt)$ . Ces signaux sont reconstitués sous forme crénelée et ainsi multipliés et intégrés après avoir au préalable subi l'opération retard.



Il faut prévoir un bouclage des tranches de signal avec un espace blanc intercalé entre 2 tranches d'une longueur au moins égale à la durée de la plus longue, un système de codage décodage binaire.... La durée de calcul d'un tel dispositif sera donc proportionnelle au nombre d'échantillon définissant le signal.

En procédant ainsi, on commet des erreurs :

- erreurs de quantification proprement dite qui dépend du nombre de niveaux que l'on utilise
- erreurs provenant de l'interpolation d'ordre 0 effectuée après quantification. Cette erreur dépend du facteur de suréchantillonnage.

Nous avons chiffré, en procédant empiriquement par simulation, les erreurs commises sur divers types de signaux que nous avons voulu prendre aussi représentatifs que possible de la gamme de signaux utilisés : les signaux sinusoïdaux, en dent de scie, à modulation linéaire de fréquence et une tranche de bruit gaussien. Nous avons défini ainsi une configuration optimale des étages de registres de l'ambiguïmètre, si l'on part d'un "volume" de registres donné. Nous avons montré également que l'on doit tenir compte d'une fréquence



COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE CALCUL DE LA FONCTION  
D'AMBIGUITE EN COMPRESSION.

minimale d'échantillonnage, sans laquelle, le signal étant trop déformé, le nombre de niveaux de quantification n'intervient plus. Nous avons groupé les résultats dans le tableau suivant :

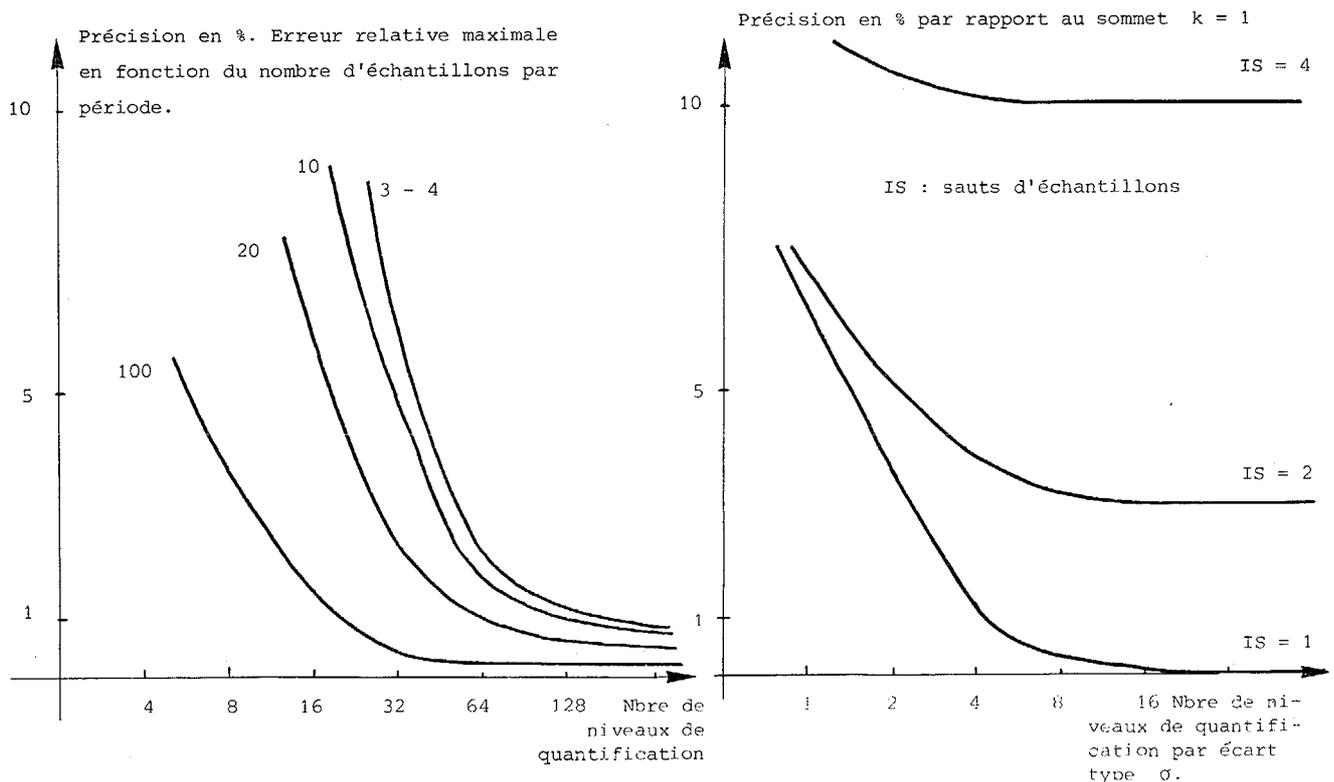
Signaux	Nbre de niveaux optimal par écart type (précision 3%)	Fréquence minimale d'échantillonnage	$\sigma$
SINUS	30	$10v_0$	$1/\sqrt{2}$
DENT DE SCIE	35	$10-20v_0$	$1/\sqrt{3}$
MLF	5 - 6	5 à $10 v_c$	$1/\sqrt{2}$
BRUIT	4 - 8	5 à $10 v_c$	1

$v_0$  fréquence propre

$v_c$  fréquence centrale

Nous en avons conclu que pour des échantillons à corrélation forte, on a intérêt à utiliser un grand nombre de niveaux de quantification par écart type. Par contre, pour des échantillons faiblement corrélés les résultats sont semblables à ceux que nous avons obtenus théoriquement sur l'espérance d'ambiguïté pour la quantification seule de signaux aléatoires: 4 à 8 niveaux suffisent. Un ambiguïmètre électronique bien conçu devrait donc être constitué de modules de registres que l'on pourrait associer soit en parallèle, soit en série.

Nous pensons avoir ainsi défini la configuration d'un ambiguïmètre électronique particulièrement simple, donc peu onéreux.



SIGNAL SINUSOIDAL - Erreurs sur la fonction de corrélation.

TRANCHE DE BRUIT GAUSSIEN.  
Erreurs sur la coupe doppler.



COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE CALCUL DE LA FONCTION  
D'AMBIGUITE EN COMPRESSION.

2 - AMBIGUIMETRE OPTIQUE

Le calcul de la fonction d'ambiguïté d'un signal de grand produit durée bande nécessite le calcul d'un grand nombre de convolutions. Pour les effectuer, nous avons essayé d'utiliser des moyens optiques qui apportent une grande capacité de traitement, un calcul rapide et la possibilité d'un traitement parallèle grâce à son caractère bidimensionnel.

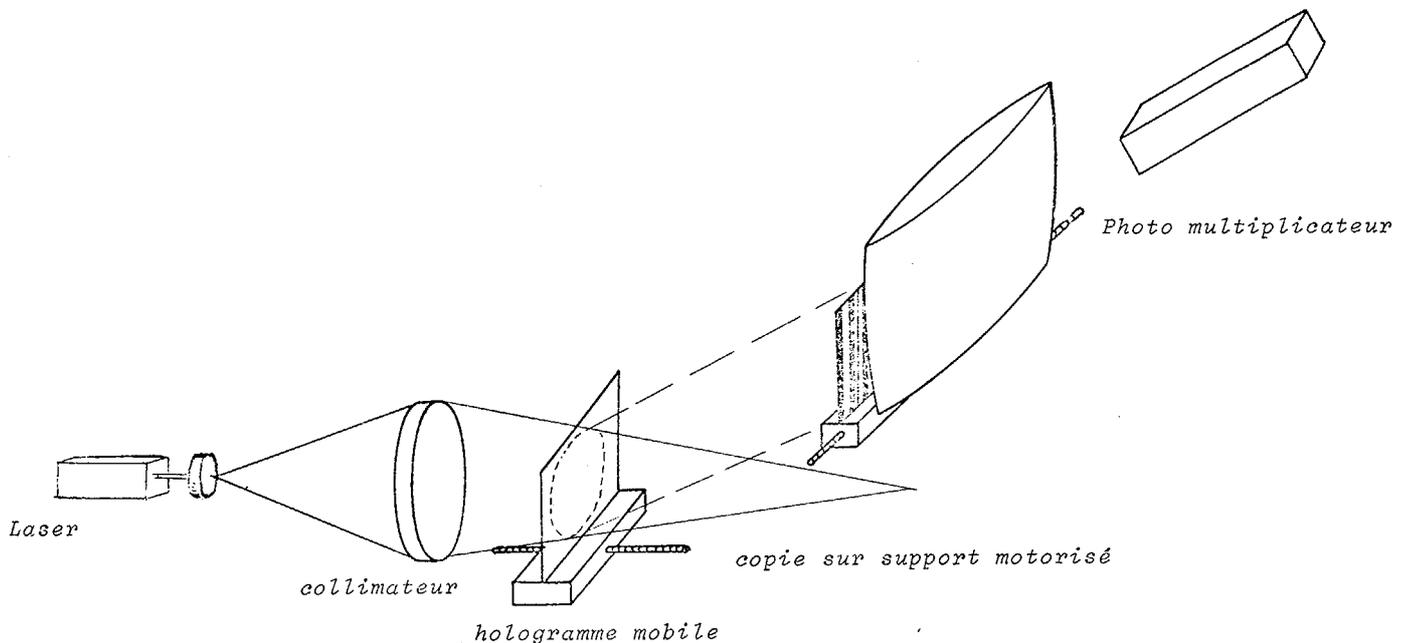
Le mode de réalisation optique d'un convolveur dépend essentiellement des variables (temps ou espace) dont dépendent les fonctions d'entrée et de sortie, ainsi que de la variable d'intégration. Dans tous les cas, pour effectuer le produit de convolution de  $S(t)$  par  $S(kt)$ , il faut disposer d'une copie spatiale de  $S(kt)$ . Pour réaliser la multi-concolution, il faut disposer d'un grand nombre de copies pour couvrir la gamme de compression désirée. Le problème est donc de fabriquer cet ensemble de copie. Remarquons que la transposition spatiale de la compression temporelle due à l'effet doppler est une homothétie. Une copie comprimée pourrait donc être faite à partir d'une copie spatiale initiale à l'aide d'un objectif à grandissement variable, mais nous avons préféré mettre à profit certaines propriétés des hologrammes. En effet, ils simplifient la réalisation des convolveurs en supprimant toute optique de transfert d'image et ils sont capable de former une image homothétique de cette qui a été enregistrée.

Considérons l'hologramme d'un objet plan enregistré avec une référence ponctuelle dans le même plan, situé à une distance  $z$  de la plaque holographique, avec une longueur d'onde  $\lambda_0$ . Si la source de restitution, de longueur d'onde  $\lambda_c$  est placée à une distance  $z_r$ , l'image restituée est à la même distance  $z_r$  et possède un grandissement

$$G = \frac{\lambda_c}{\lambda_0} \cdot \frac{z_c}{z_0}$$

Nous disposons donc de deux paramètres :  $c$  et  $z_c$  pour faire varier le coefficient de compression de l'image restituée.

Une source blanche de restitution forme simultanément un ensemble de copies homothétiques. Nous avons pu, en appliquant ce procédé à un convolveur spatio-temporel à l'intégration temporelle (par film photographique), obtenir la fonction d'ambiguïté sous forme d'une transparence variable. Malheureusement, la faible brillance des sources blanches et la difficulté de réalisation de l'hologramme apropié rendent ce système peu exploitable.





COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE CALCUL DE LA FONCTION  
D'AMBIGUITE EN COMPRESSION.

Le montage définitif utilise un convolveur à intégration spatiale et un traitement séquentiel des canaux doppler. L'hologramme est déplacé parallèlement à lui-même de façon à projeter une image  $S(kx)$  sur une transparence mobile représentant  $S(x-\tau)$ . Une lentille intègre le produit et la sortie d'un photomultiplicateur est proportionnelle à :

$$A(k, \tau) = \int S(kx) \cdot S(x-\tau) dx$$

En fabriquant des signaux de balayage proportionnels aux déplacements  $\tau$  et  $k$ , on peut tracer la fonction d'ambiguïté en perspective. (voir figures).

Le montage a été utilisé pour des signaux de produit durée-bande de 1000 et il est envisageable d'atteindre 10000. La vitesse est limitée par le déplacement mécanique de la copie. Il faut environ une minute pour décrire complètement une coupe suivant l'axe retard.

Notons que l'utilisation de la variable de longueur d'onde de restitution à l'aide d'un filtre acousto-optique ou d'un laser à colorant permettrait de multiplexer les canaux doppler et le traitement en temps réel (réalisant alors un filtre) semble possible, à condition de résoudre simplement la transposition spatiale du signal temporel.

### 3 - COMPARAISON DES METHODES

Les deux études et l'expérience du calcul numérique de la fonction d'ambiguïté nous permettent de caractériser les différentes méthodes.

- Le calcul numérique sur ordinateur est très souple et la précision peut être adaptée au type de signal, mais il est très lent. Il nous faut une seconde pour calculer un point de la fonction d'ambiguïté d'un signal défini par 1000 échantillons.
- Le calcul électronique tel que nous le proposons peut être assez précis. Pour des signaux riches, l'appareillage devient complexe, mais la grande capacité des registres intégrés actuels permet une réalisation relativement facile. La vitesse de calcul est environ 1000 fois plus grande que par calcul numérique. Elle est limitée par les registres MOS, et est encore trop faible pour envisager un calcul en temps réel.
- Le calcul optique, entièrement analogique, est moins précis, mais plus rapide, d'autant plus qu'il élimine les problèmes d'échantillonnage. Le gain en vitesse est de l'ordre de 10 à 100 avec notre montage, mais nous avons montré que l'on peut espérer traiter des signaux sonar en temps réel. Malheureusement, la mise en oeuvre de l'optique est actuellement assez lourde, surtout à cause des intermédiaires photographiques.

Remarquons d'autre part, qu'une grande vitesse de calcul est inutile pour un ambiguïmètre si l'on ne dispose pas d'un traceur rapide.

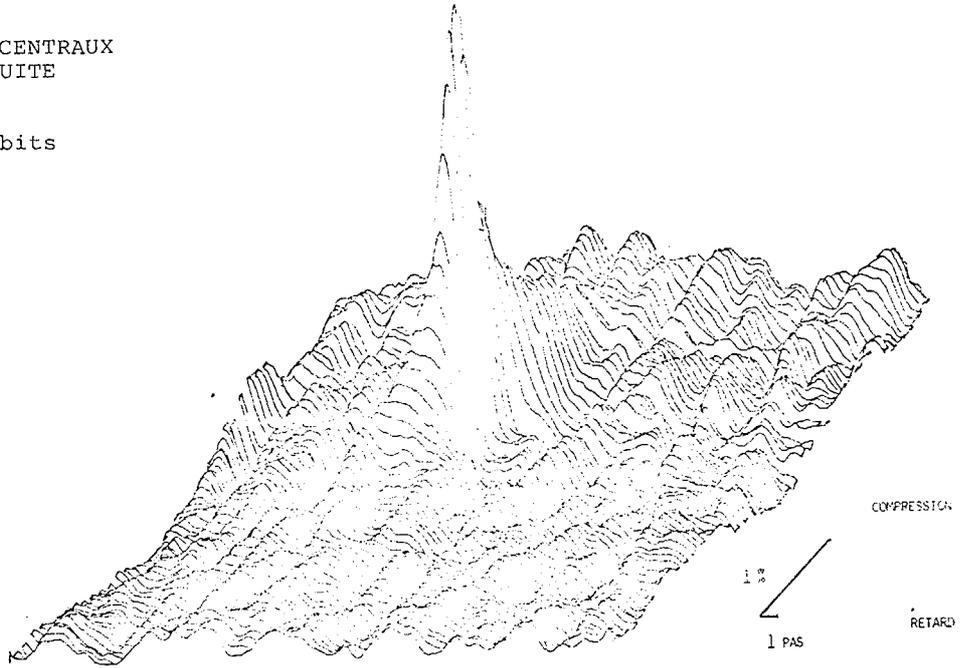
Nous pensons donc que l'ambiguïmètre électronique convient bien pour des signaux dont le B.T. ne dépasse pas 1000. Au delà, on peut préférer la solution optique. Mais ce n'est que pour le traitement en temps réel que l'optique devrait s'imposer.



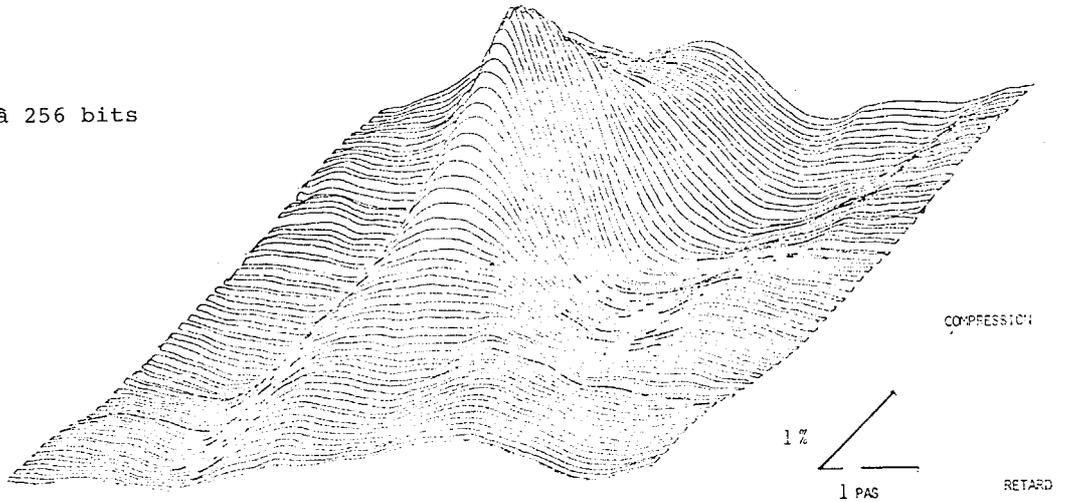
COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE CALCUL DE LA FONCTION  
D'AMBIGUITE EN COMPRESSION.

CALCUL OPTIQUE DE PICS CENTRAUX  
DE FONCTIONS D'AMBIGUITE

a/ Code binaire à 1024 bits



b/ Code binaire à 256 bits



c/ Code binaire à 256 bits  
modulé à deux sinusôïdes  
par pas.

