



DEUXIÈME COLLOQUE
SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL
ET SES APPLICATIONS

28/1

NICE - 5 AU 10 MAI 1969

CORRELATION OPTIQUE POUR TRAITER DES SIGNAUX
CODES AVEC UNE LOI DE PHASE PSEUDO-ALEATOIRE

Claude SKENDEROFF
Jean DANSAC
Léonidas SYMANIEC
Claude-André PAYEN

I - INTRODUCTION.

Les radars à très grande portée nécessitent pour préserver leur pouvoir de résolution en distance, l'émission de signaux codés tels que leur produit "Durée x Largeur de Bande Spectrale" ($T \times \Delta F$) soit le plus élevé possible, selon les spécifications techniques du problème.

La modulation de phase pseudo-aléatoire définie par la séquence issue d'un registre à décalage convenablement bouclé sur lui-même présente une fonction d'ambiguïté presque idéale.

En effet, dans le domaine du Temps, elle est constituée d'un pic de corrélation de durée $1/\Delta F$, entouré de lobes secondaires d'un niveau $1/\sqrt{N}$, N étant le nombre de digits du code, et dans le domaine des fréquences elle est formée d'un pic de largeur $1/T$.

Dans tout le plan Temps-Fréquences les lobes secondaires offrent un niveau moyen voisin de $1/\sqrt{N}$ ce qui constitue une bonne "fonction d'ambiguïté".

Ces codes sont très avantageux pour les radars à longue portée qui nécessitent des durées d'émission importantes, comprenant alors un très grand nombre de digits, ce qui diminue le niveau relatif des lobes secondaires par rapport au pic principal.

Le Type de modulation utilisé a été spécialement étudié pour minimiser les lobes secondaires de la fonction d'auto-corrélation.

Les planches 1 à 4 montrent comment on peut déformer la fonction d'ambiguïté à l'aide d'un codage pseudo-aléatoire approprié.



CORRELATION OPTIQUE POUR TRAITER DES SIGNAUX
CODES AVEC UNE LOI DE PHASE PSEUDO-ALEATOIRE

Le Récepteur présent utilise la corrélation optique pour traiter les signaux reçus à la fois en distance et en fréquence Doppler.

Le code utilisé dans l'application actuelle comprend 1024 Digits et le Récepteur traite 600 distances pour 20 Doppler, soit 12.000 points en parallèle.

Ce type de Récepteur contient deux corrélateurs optiques en parallèle, destinés à traiter les signaux issus d'une antenne monopulse, à savoir, celui de la voie somme et celui d'une voie différence.

II- PRINCIPE DE LA CORRELATION OPTIQUE EN LUMIERE NON COHERENTE.

Une corrélation consiste à réaliser les trois opérations suivantes :

- Retarder un signal de référence,
- Multiplier le signal reçu par le signal de référence,
- Intégrer le produit obtenu pendant sa durée.

Le maximum de la fonction d'autocorrélation est obtenu quand il y a coïncidence entre le signal "retour" et le signal de référence correctement retardé.

La Planche 5 montre le principe de base du corrélateur optique en temps réel, qui comprend :

- Une source de lumière modulables par $S(t)$,
- un film, sur lequel est inscrit, sous forme d'une transparence variable, le signal de référence $S(t-\tau)$. Ce film se déplace à une vitesse V telle qu'il existe un synchronisme entre le signal incident $S(t)$ et le temps pendant lequel la transparence $(S(t-\tau))$ défile devant la source de lumière.
- Une cellule photosensible recevant la lumière de la source modulée par le film. Cette cellule est suivie d'un circuit intérgateur

Soit, par exemple, un signal formé de 3 impulsions rectangulaires.



Quand la 1ère impulsion module la diode émissive, si la 1ère transparence se trouve dans l'axe émission-réception, la diode réceptrice reçoit une impulsion de lumière et le circuit intégrateur la garde en mémoire.

Quand la 2ème impulsion module la diode émissive, le film s'est déplacé à une vitesse telle que sa 2ème transparence a remplacé la première et la diode réceptrice reçoit la 2ème impulsion de lumière. Le circuit intégrateur ajoute cette impulsion à la 1ère et, ainsi de suite..... A la fin de l'opération, le circuit intégrateur délivre une tension :

$$V_0 = F(0) = \int_0^T S(t).S(t). dt$$

qui correspond au maximum de la fonction d'autocorrélation.

Si maintenant la 1ère transparence du film n'est pas dans l'axe émission-réception, à l'émission de la 1ère impulsion la diode réceptrice ne reçoit pas de lumière. Mais si l'on place une autre diode réceptrice dans le nouvel axe émission-transparence du film, cette dernière recevra les informations comme la diode précédente (Voir planche 6).

Chacune de ces diodes correspond à un instant d'arrivée différent pour le signal écho et caractérise donc l'information distance de la cible.

En plaçant toute une batterie de diodes, en ligne les unes à côté des autres, à chaque émission de lumière il y a toujours une diode située derrière la 1ère transparence du film et qui donnera le maximum de la fonction d'autocorrélation $F(0)$.

Par conséquent, en détectant le signal le plus fort issu des diodes suivies de leurs intégrateurs, on détermine la distance de l'écho de cible reçu.

Le balayage de toutes les diodes situées sur une même ligne horizontale donnera l'allure de la fonction d'autocorrélation du signal reçu (Voir planche 7).

Ce système n'utilise qu'une seule dimension de l'optique. On peut utiliser la dimension verticale pour représenter d'autres formes du signal attendu, par exemple avec des fréquences Doppler différentes.

Si le signal attendu est décalé en temps et en fréquence par rapport au signal émis, la source photo-émissive illumine un film de transparence variable en x et en y, où différentes pistes horizontales représentent différents effets Doppler. Le pic de Corrélation se forme horizontalement comme précédemment, mais verticalement il se forme à la hauteur correspondant à la piste de fréquence Doppler identique à celle du signal de retour. On a donc une mosaïque carrée de diodes réceptrices suivies de leurs intégrateurs.

Cette mosaïque peut être constituée par la couche sensible d'un tube analyseur d'image, genre vidicon (voir planche 8).

III - DESCRIPTION DU CORRELATEUR. (Planche 9)

Le Corrélateur comprend :

- 2 diodes photo-émissives,
- 2 optiques d'éclairage,
- 1 tambour portant les signaux de référence et sa mécanique d'entraînement,
- 2 optiques de lecture,
- 2 tubes analyseurs d'image.

La lumière émise par les diodes éclaire une surface bien précise du tambour.

Un système optique collecte le maximum d'énergie lumineuse de la diode pour la transmettre, en rayons parallèles, vers le tambour.

Le tambour est un cylindre de verre optique qui tourne à 2.400 tours par minute, avec une stabilité de 10^{-4} . (voir planche 10).

Le centrage est réalisé à mieux de 10μ . Le tambour est poli optiquement et rectifié.

La stabilité de 10^{-4} , à court terme, permet d'assurer que l'intégration cohérente se fera sans perte pendant la durée du signal émis. Pour éviter des inconvénients de glissement de fréquence entre l'émission et la réception, le signal d'émission est lu par des diodes émettrices et réceptrices sur une piste du tambour lui-même.



Ainsi, les fluctuations de vitesse du tambour, à long terme, sont les mêmes à l'émission et à la réception. L'inertie du tambour rend négligeables, ou même inexistantes, les fluctuations à très court terme.

Le signal exploité est un code à modulation de phase pseudo-aléatoire à 1024 digits. La durée totale est de 4 ms. Chaque digit fait 4 μ s. La fonction d'autocorrélation théorique de ce code est représentée sur la planche 11.

Le tambour comporte une piste inscrite dans le haut, représentant la modulation de phase par des blancs pour les phases égales à zéro et par des noirs pour les phases égales à π (Voir Planches 12 et 13).

Ce code (0 - 1) sert à moduler une porteuse électronique pour permettre la transposition de code en hyperfréquence

Ce code possède la propriété d'avoir un pic de corrélation de largeur égale à 1 digit, soit 4 μ s, et des lobes latéraux à 30 dB sous ce pic. Il permet d'observer deux cibles distantes de plus de 600 m et de rapport de surfaces équivalentes égal à 1000.

Pour réaliser la corrélation d'échos revenant de cibles ayant des distances et des Doppler variés, on a inscrit sur le même tambour sous forme de transparence variable (0-1) différentes pistes de signaux codés, chacune ayant une fréquence Doppler différente de la précédente de $\frac{1}{2T}$. Ce tambour comporte 20 pistes Doppler de ce type.

Quant aux voies distances, elles sont concrétisées par le grain de la couche sensible du vidicon, c'est-à-dire, un nombre suffisamment grand pour considérer que les points de corrélation obtenus décrivent, d'une façon continue, la fonction d'autocorrélation, ce qui assimile ce type de Corrélateur à un filtre adapté.

La plage de distances observées correspond à la largeur de la ligne du vidicon. Si cette plage est insuffisante, il suffit de représenter sur le tambour un autre groupe de pistes Doppler, décalées vers le bas de 20 pistes et horizontalement d'une quantité égale à la dimension d'une ligne de vidicon (Voir planche 14). On a donc une représentation Distance Doppler par gammes de distance.



Le système de lecture du vidicon est constitué par un balayage de la cible par un faisceau d'électrons. La focalisation est réalisée par des bobines électro-magnétiques, alimentées par des dents de scie synchrones de la rotation du tambour.

Le balayage de la cible efface ce qui est inscrit, ce qui permet d'enregistrer de nouveaux signaux. Le système fonctionne en temps réel. En effet, quand le premier groupe de distances s'est inscrit sur le haut du vidicon, pendant 4 ms, le balayage commence par cette zone, tandis que le deuxième groupe de distances s'inscrit sur le vidicon en dessous du premier, etc

Le signal vidéo ainsi obtenu est envoyé vers un moniteur de télévision, ou un extracteur, suivi d'un Calculateur. On peut ainsi visualiser sur une télévision la fonction d'ambiguïté du code utilisé. Les planches 15 et 16 donnent l'allure des signaux à l'entrée et à la sortie du Corrélateur.

Le système réalisé comporte 20 Dopplers et une plage distance correspondant à 600 quanta de $4\mu s$. soit 12.000 quanta d'informations.

IV - CONCLUSION

L'intérêt de la modulation pseudo-aléatoire dans les réception de signaux variables en distance et en Doppler est de présenter un pouvoir de résolution très bon, à la fois en distance et en Doppler, avec des lobes secondaires à 30 dB sous le lobe principal, dans tout le domaine temps-fréquence.

Ce type de code se traite particulièrement bien par les Corrélateurs Optiques en Lumière Non Cohérente qui sont, en fait, de véritables filtres adaptés aux codes pseudo-aléatoires.

La capacité de tels corrélateurs est environ de 20.000 quanta par tube analyseur d'image.

L'énorme intérêt de l'utilisation d'un tambour est de pouvoir faire varier la vitesse dans des proportions considérables, ce qui confère à ce type de Corrélateurs la possibilité de traiter des signaux très courts, allant de durée de moins d'une microseconde à plus d'une seconde.



Les taux de compression peuvent varier de 1 à 5.000.

Cette souplesse rend ces Corrélateurs adaptés aussi bien au traitement des échos radars que sonars.

La mise en oeuvre de ces dispositifs reste basée sur le même principe pour des ordres de grandeurs différents.

Leur faible encombrement reste l'une de leurs qualités fondamentales vis-à-vis de la quantité d'informations traitée..

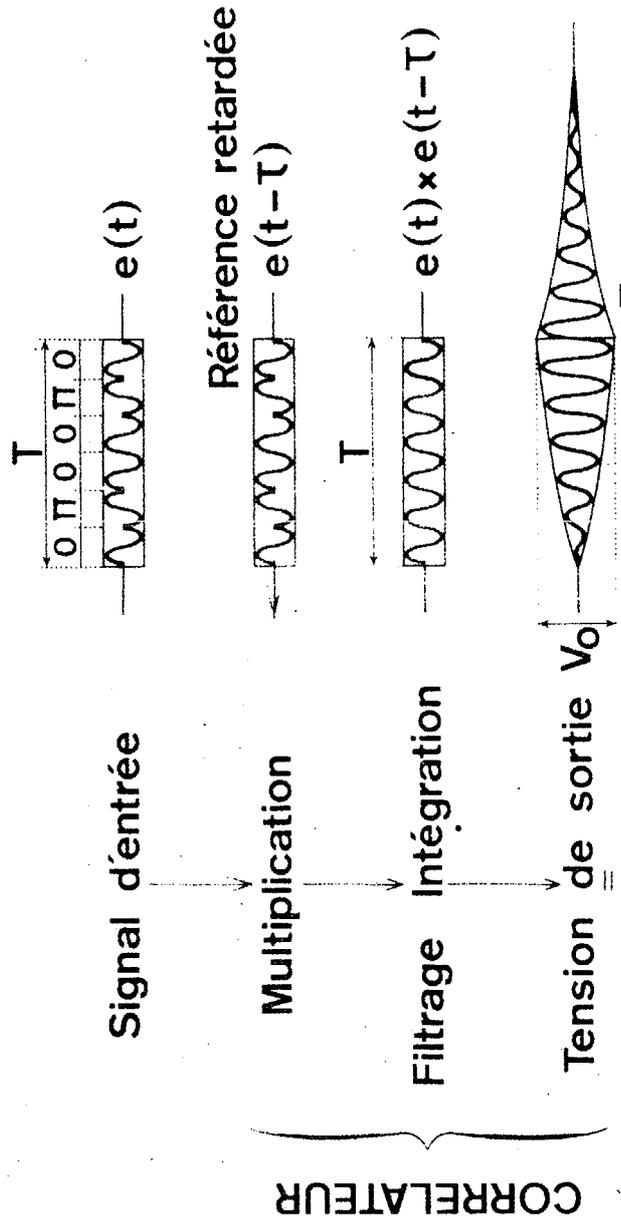
Cet avantage découle de quatre propriétés naturelles :

- Les tambours constituent d'excellentes lignes à retard de 1 μ s. à plusieurs secondes.
- La multiplication optique est très simple.
- L'optique traite les signaux simultanément en deux dimensions.
- Les lentilles optiques réalisent des intégrations naturellement.

-----00000-----



MODULATION PSEUDO-ALEATOIRE DE PHASE

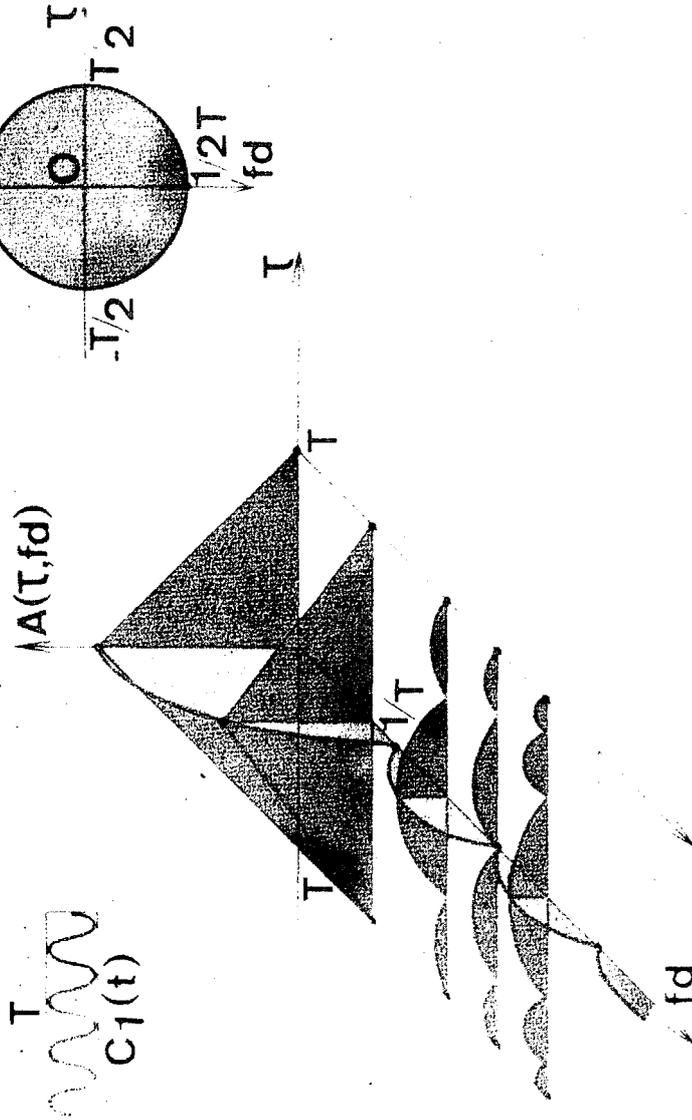


$$V_0 = F_0 = \int_0^T e(t) \cdot e(t) dt$$

Valeur d'un point de la fonction d'autocorrélation

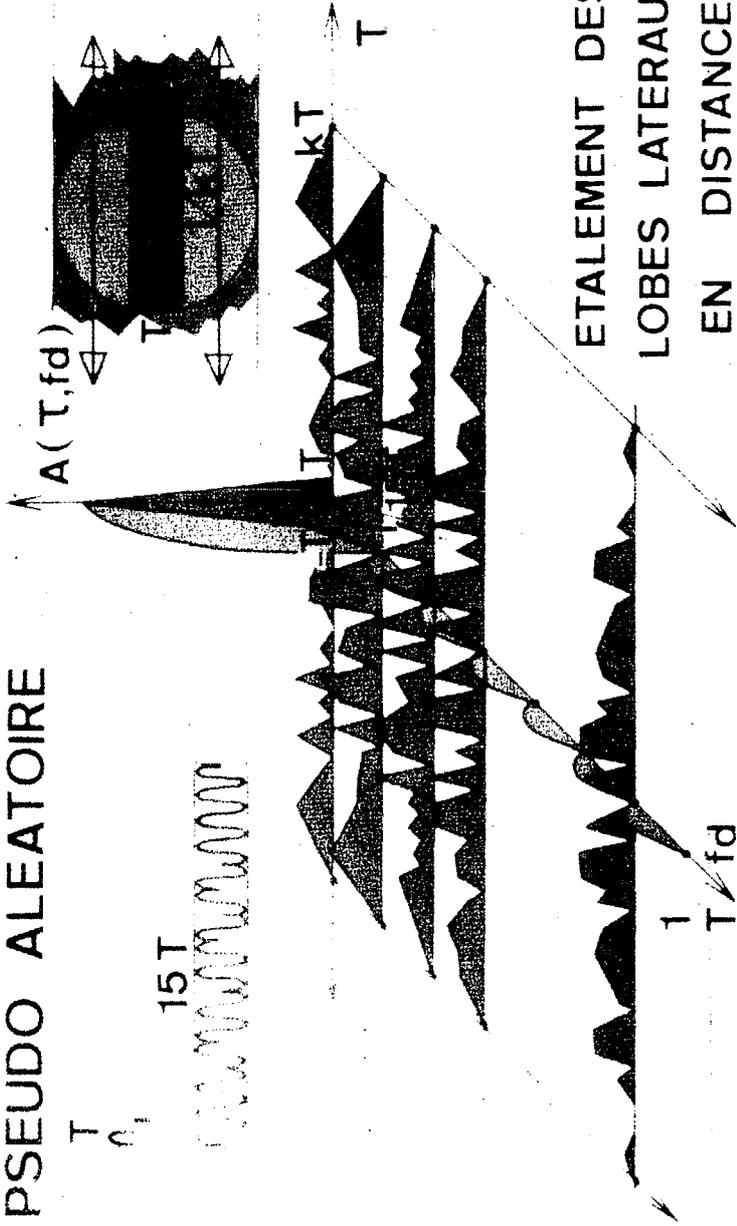


FONCTION D'AMBIGUITE D'UNE IMPULSION RECTANGULAIRE



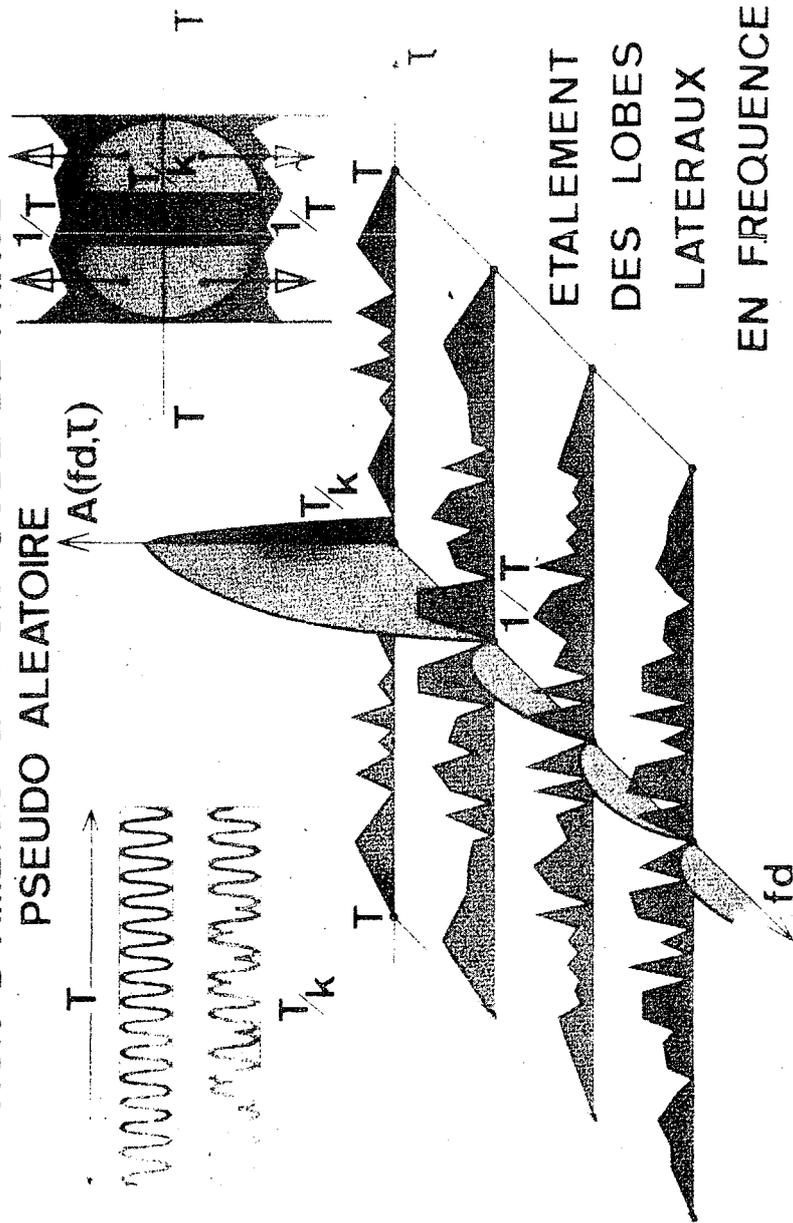


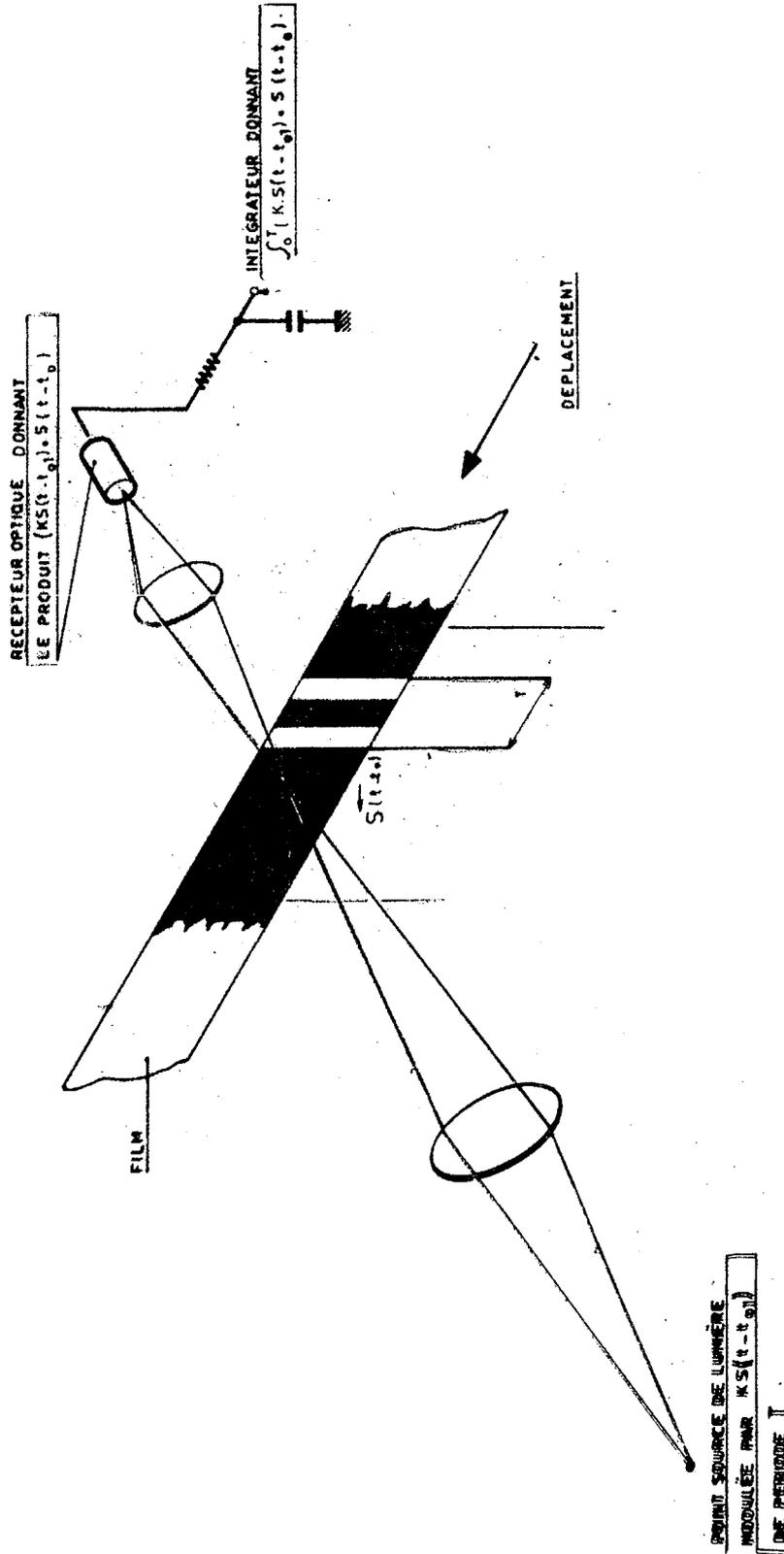
FONCTION D'AMBIGUITE D'UN CODE DE PHASE PSEUDO ALEATOIRE



ETALEMENT DES LOBES LATERAUX EN DISTANCE

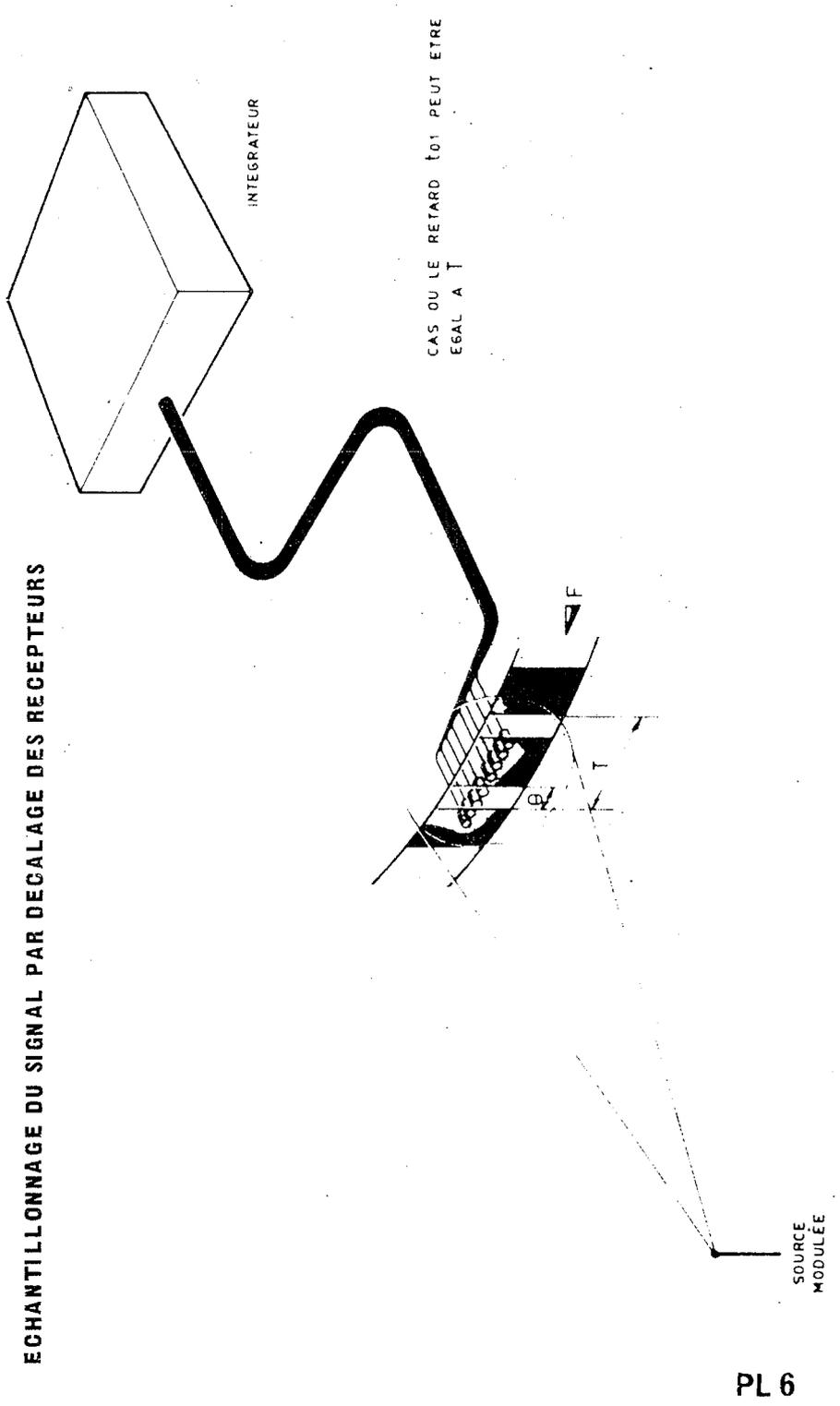
FONCTION D'AMBIGUÏTE D'UN CODE DE PHASE
PSEUDO ALEATOIRE





DISPOSITIF OPTIQUE DE COMPRESSION D'IMPULSION EN TEMPS REEL

PL.5

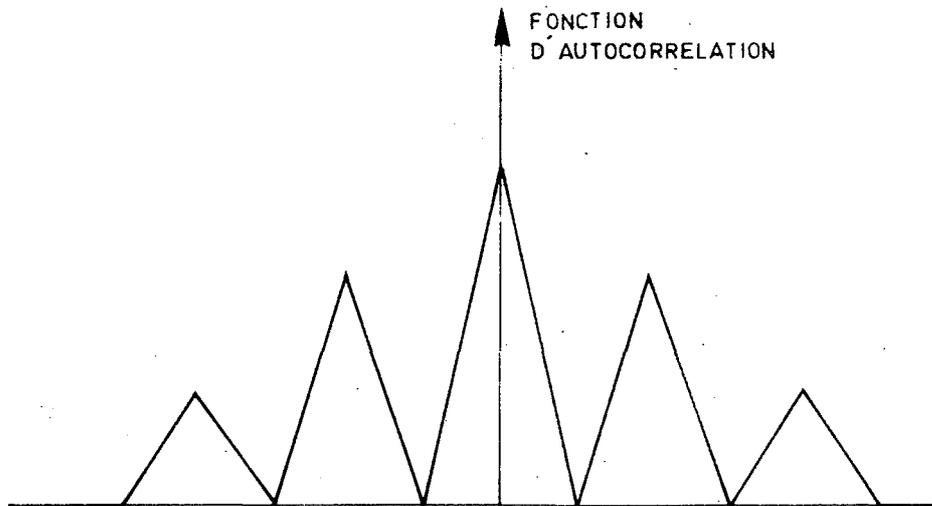
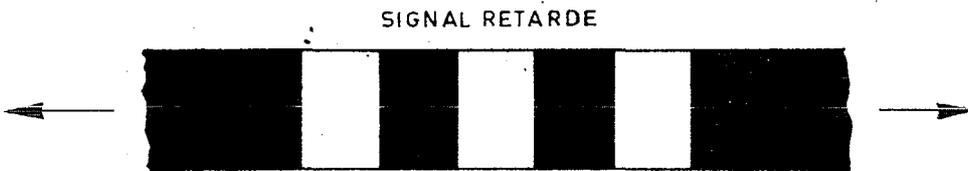




FONCTION D'AUTOCORRELATION DE 3 FENTES



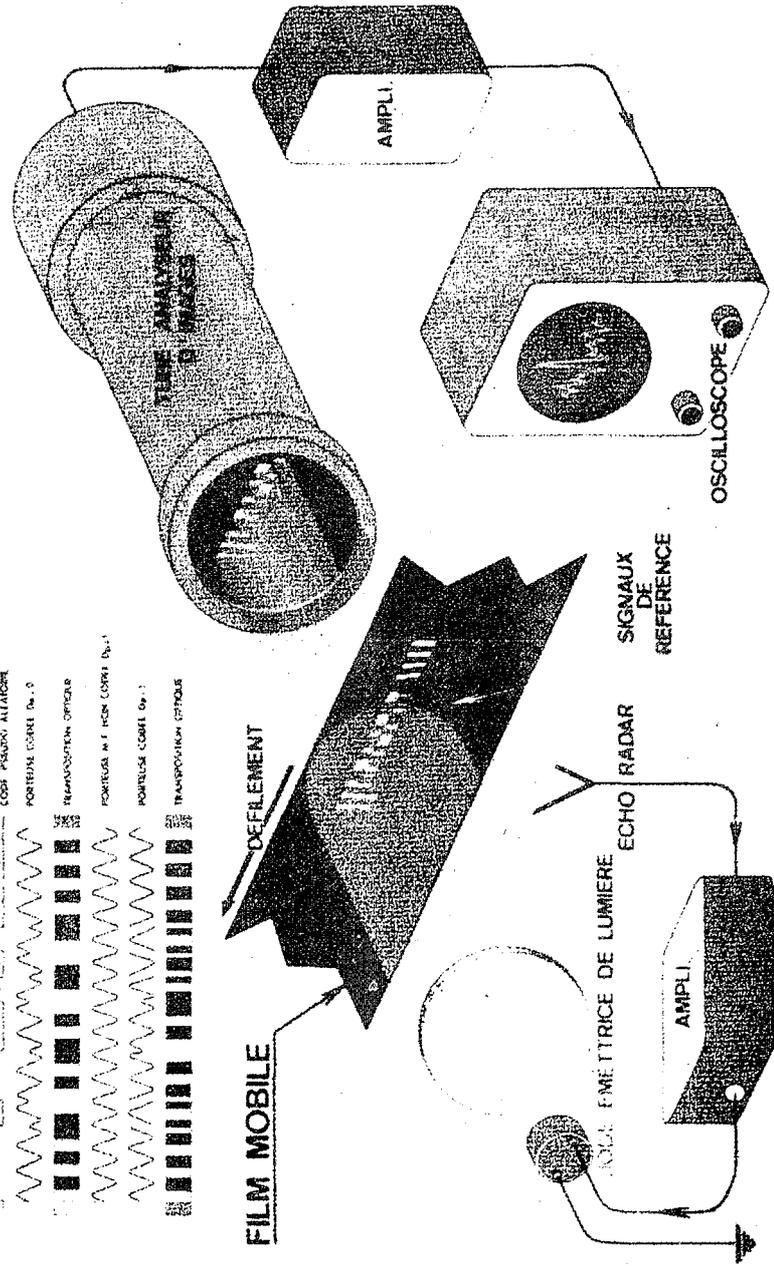
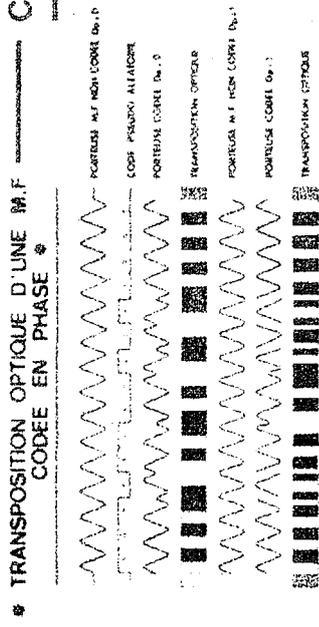
SIGNAL



PL. 7

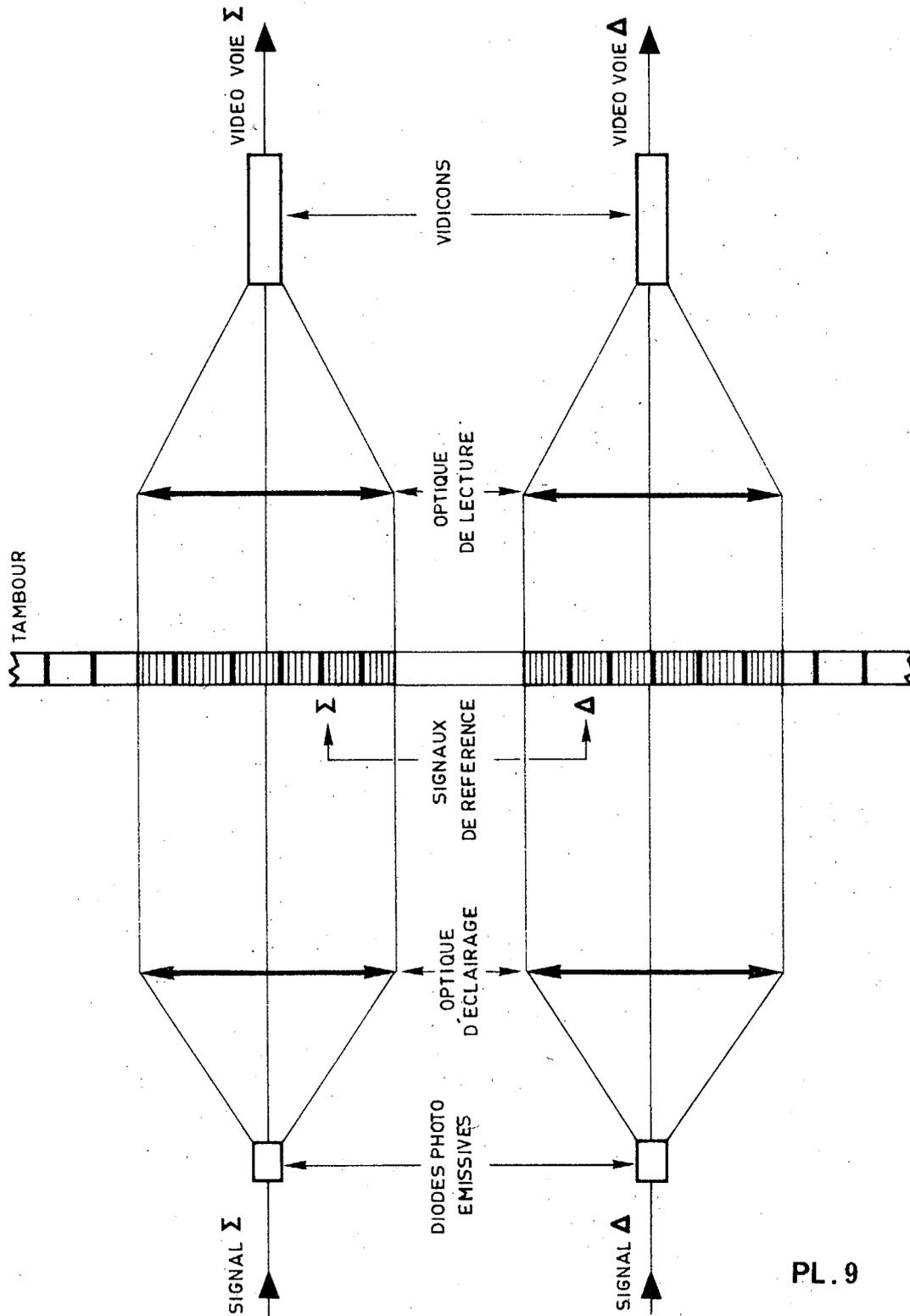


CORRELATEUR OPTIQUE EN TEMPS REEL MESURE DE DISTANCES DOPPLER





BLOC DIAGRAMME GENERAL DU CORRELATEUR

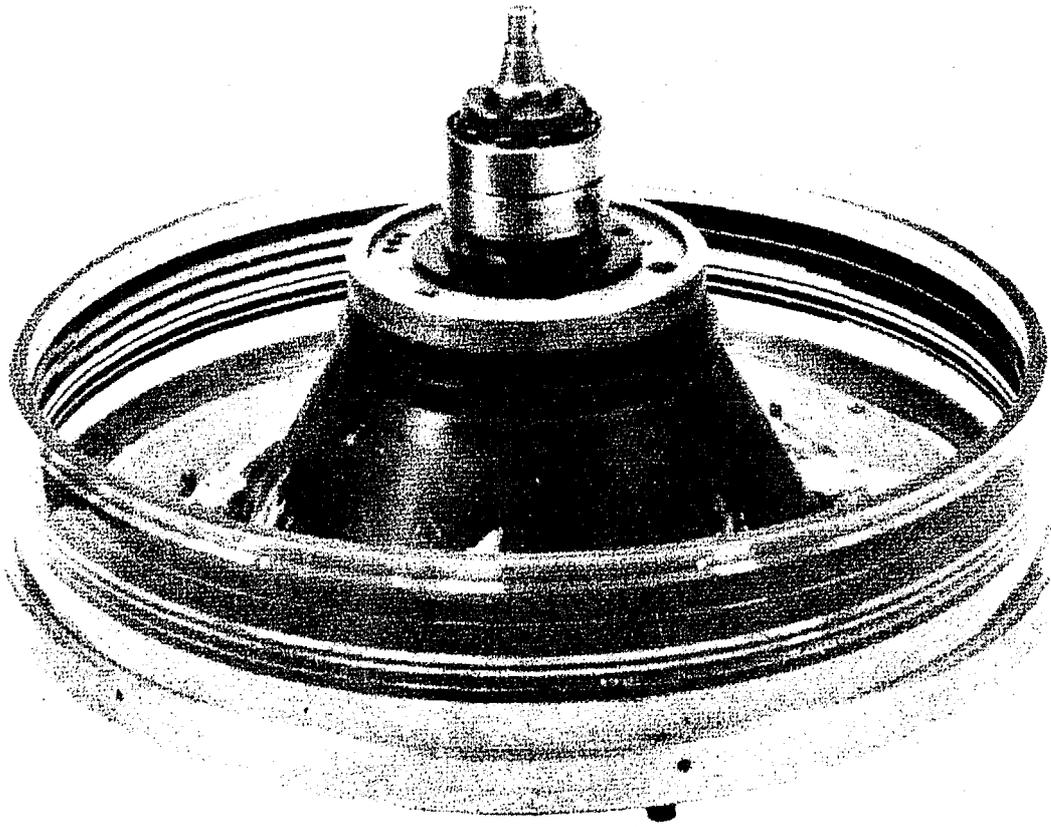


PL.9



28/18

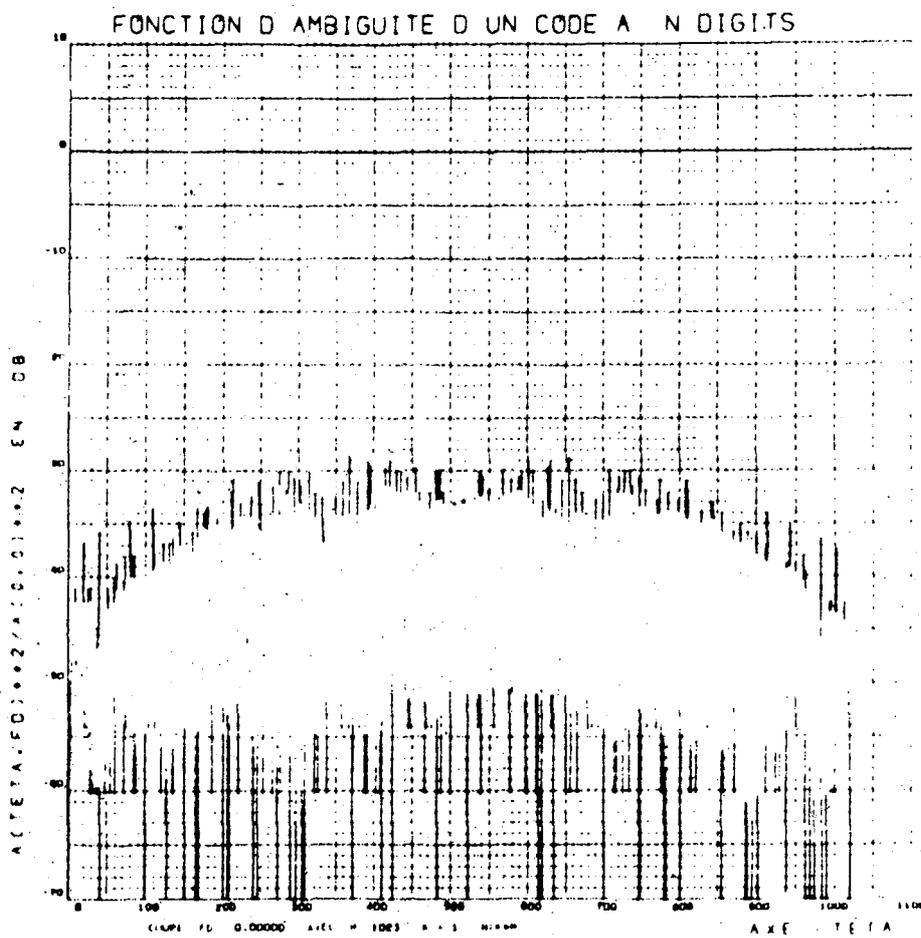
VUE DU TAMBOUR



PL.10



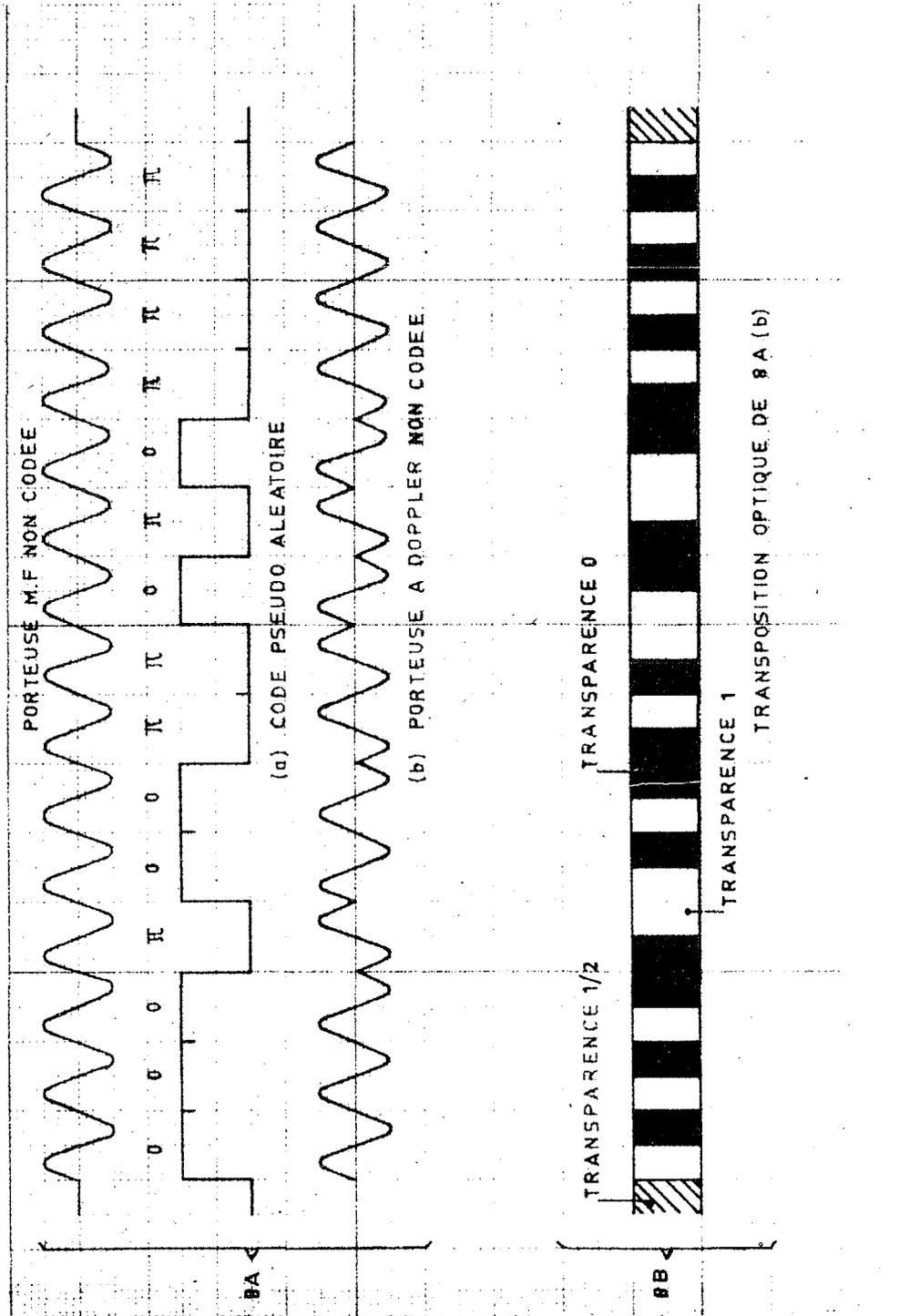
FONCTION D'AUTOCORRELATION D'UN CODE A 1023 DIGITS



PL11



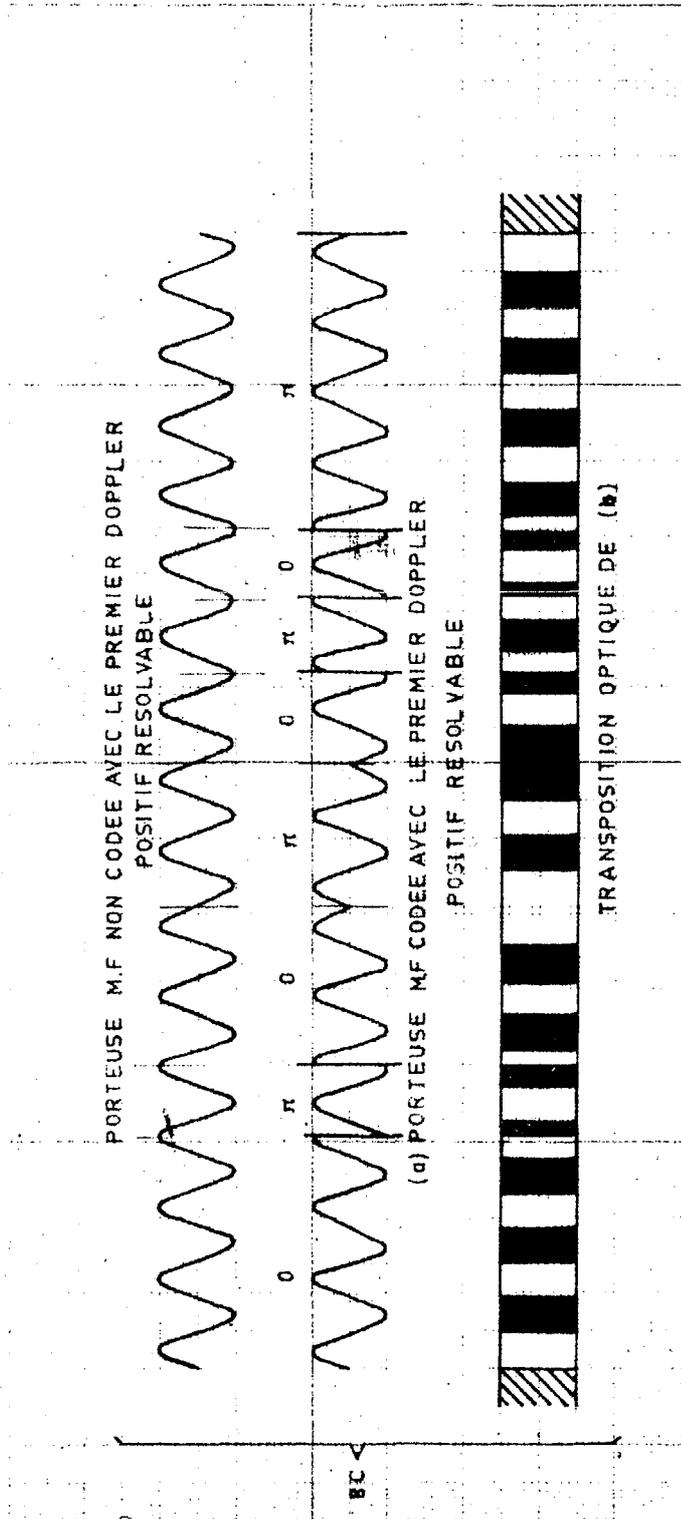
ALLURE D'UNE PISTE SANS DOPPLER



PL.12



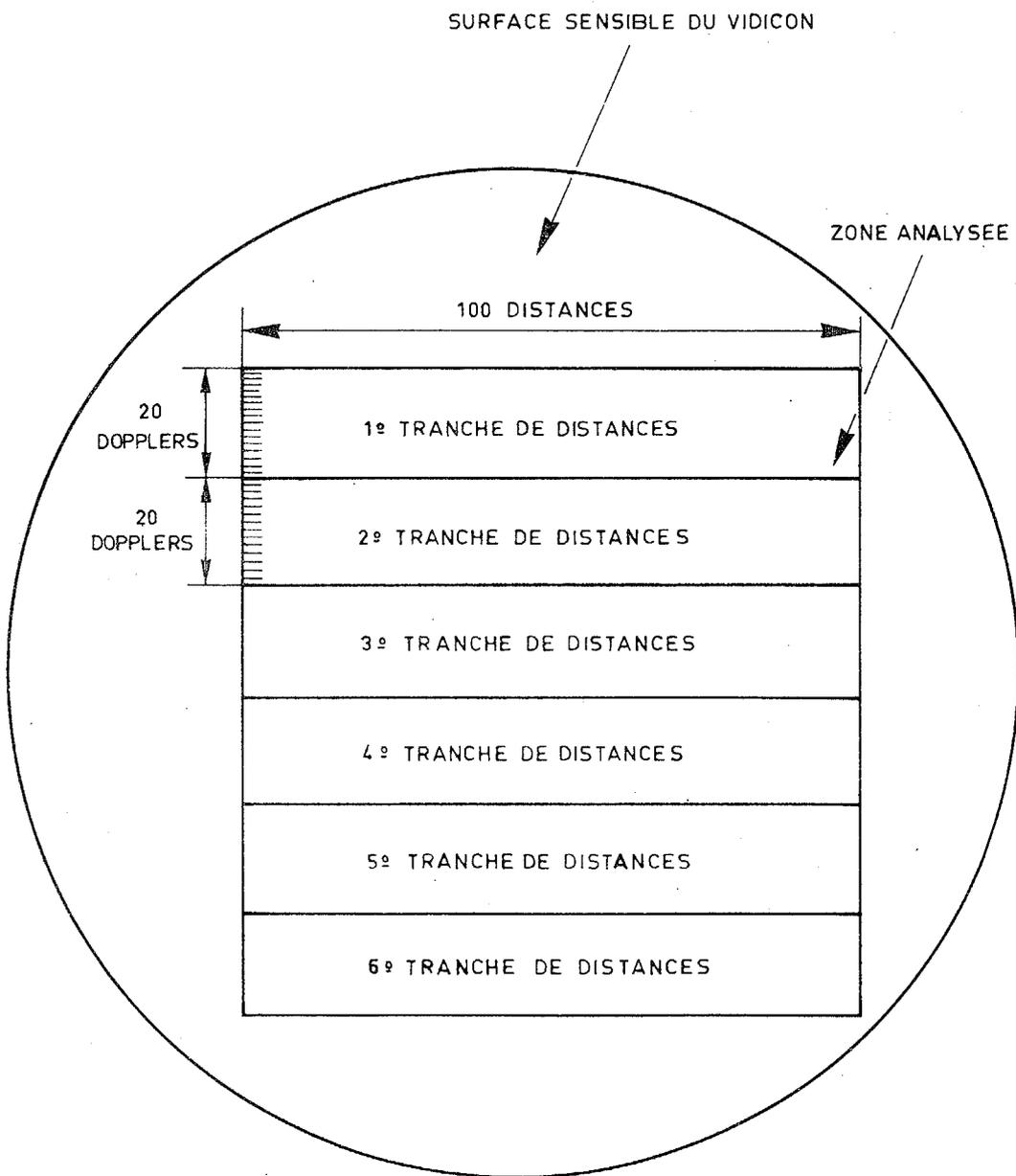
ALLURE D'UNE PISTE AVEC DOPPLER



PL.13



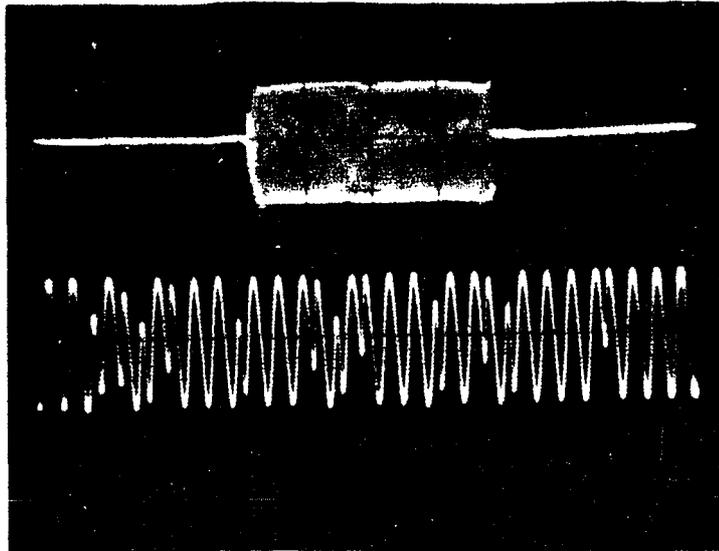
ALLURE DE L'IMAGE SUR LE VIDICON



PL.14

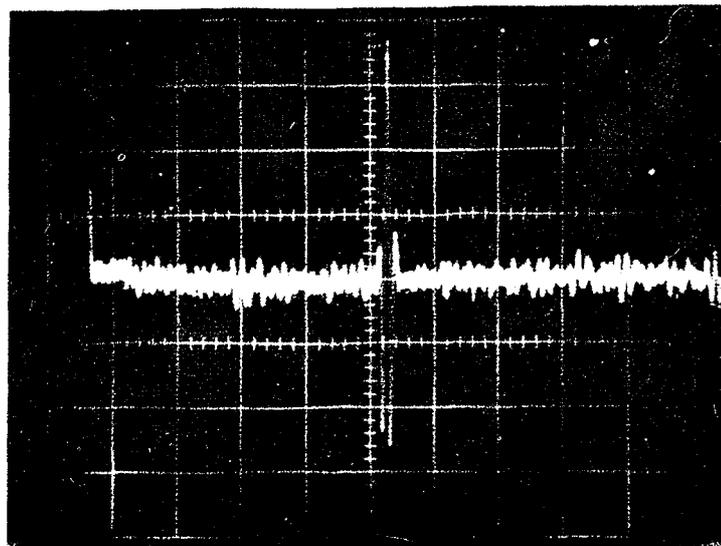


SIGNAL LONG APPLIQUE SUR LA DIODE EMETTRICE



PL.15

SIGNAL COMPRI ME EN SORTIE DU CORRELATEUR



PL.16