

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

599



NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

ALTERATION DE LA PHASE DANS UNE TRANSMISSION EN ACOUSTIQUE
SOUS-MARINE
PHASE DEFORMATION IN A SUBMARINE ACOUSTICAL TRANSMISSION

J.Y. JOURDAIN* - P. LAMBERT** - G. REVOL*

** CEPHAG B.P. 46 - 38420 ST-MARTIN-D'HERES - Equipe de recherche associée au CNRS (ERA 93)
* Attaché aux Services Techniques de l'Armée

RESUME

Deux transmissions acoustiques sous-marine, l'une dans le sens horizontal (quelques dizaines de kilomètres), l'autre dans le sens vertical (plusieurs centaines de mètres) servent de support à l'étude des effets de la propagation sur la phase.

On constate en particulier une modulation de fréquence et une modulation de phase et on montre que l'étude de ces modulations (essentiellement pour la phase) permet d'ébaucher une modélisation du milieu de transmission.

Pour certaines applications de communication, la connaissance des phénomènes permet d'améliorer considérablement le débit. C'est le cas pour la modulation de la fréquence due à la houle dans la transmission verticale

SUMMARY

From two types of propagation (vertical and horizontal) we study the phase deformation in a submarine acoustical transmission.

This deformation is the addition of a frequency modulation and a phase modulation. The study of these modulations (essentially phase modulation) gives one way to build a first modelisation of the transmission channel.

We finish giving an application where information about phase solve a frequency slipping problem at the reception of an information transmission

I - INTRODUCTION

L'action du milieu sous-marin peut être assimilée à un filtrage linéaire, éventuellement aléatoire et (ou) variable dans le temps [0]. On cherche à estimer le gain complexe de ce filtre afin d'élaborer une modélisation du milieu qui permettra alors de réaliser des systèmes de communication et de détection les plus appropriés.

L'étude de la réponse du milieu à une excitation par des ondes monochromatiques permet d'estimer ce gain complexe, et on constate que, lors de la transmission, le signal émis

$$E(t) = A \cdot \cos(2\pi \nu_0 t + \phi_0) \quad (1)$$

est affecté d'une modulation d'amplitude et de phase. Le signal reçu peut alors se modéliser sous la forme

$$R(t) = A(t) \cdot \cos(2\pi \nu_0 t + \phi_0 + \phi(t)) \quad (2)$$

ou

$$R(t) = \underbrace{[A(t) \cdot \cos(\phi(t) + \phi_0)]}_{P(t)} \cos(2\pi \nu_0 t) - \underbrace{[A(t) \cdot \sin(\phi(t) + \phi_0)]}_{Q(t)} \sin(2\pi \nu_0 t) \quad (3)$$

où l'on fait apparaître les composantes basse-fréquence $P(t)$ et $Q(t)$ du signal. Ces deux grandeurs facilement accessibles par démodulation complexe du signal reçu [1] contiennent toute l'information sur l'action du milieu sous-marin lors de la transmission.

Le travail présenté ici se limite à l'étude du terme $\phi(t)$ (que l'on obtiendra sur calculateur par calcul de $\text{Arctg}[P(t)/Q(t)]$) pour plusieurs fréquences pures, émises simultanément.

Nous envisagerons 2 types de propagation bien différents :

1) une propagation horizontale (P.H.) à moyenne distance (environ 60 km) par grands fonds entre l'émetteur fixe et un récepteur mobile (étude réalisée pour la DRET). Les fréquences sont voisines de 800 Hz. Ces séquences ont une durée de 40 minutes. Le rapport signal à bruit est moyen. On est dans une situation de propagation par trajets multiples.

2) une propagation verticale (P.V.) à 500 m ou 2300 m. L'émetteur étant suspendu au bâtiment récepteur (étude réalisée à partir de données recueillies avec le COB). Les fréquences étudiées sont comprises entre 25 KHz et 27 KHz. La durée des séquences est de 50 minutes. Nous avons une transmission par trajet unique avec un très bon rapport signal à bruit

II - ETUDE DE LA PHASE

Nous étudierons la phase absolue ($\phi(t) \in]-\infty, +\infty[$). Pour cela nous supposons une certaine continuité de la phase (variation entre deux échantillons inférieurs à π) permettant de corriger les discontinuités de la fonction arctangente.

Nous considérons que la phase $\phi(t)$ est affectée de 2 types de modulations : une modulation de type "fréquence" et une modulation de type "phase"

$$\phi(t) = 2\pi \Delta \nu(t) \cdot t + \psi(t) \quad (4)$$

2-1 Modulation de fréquence -

On peut inclure dans cette modulation deux effets :

* un effet dû à l'expérimentation : la fréquence de démodulation n'est pas rigoureusement égale à la fréquence étudiée.

* l'effet Doppler dû à la variation de vitesse du bâtiment récepteur. Le Doppler peut fluctuer dans le temps. On voit que ce terme, qui croît linéairement avec le temps ; peut prendre rapidement des valeurs importantes et masquer des modulations dynamiques plus faibles

FREQUENCE EMISE : 25224 HERTZ
IMMERSION : 2300 METRES

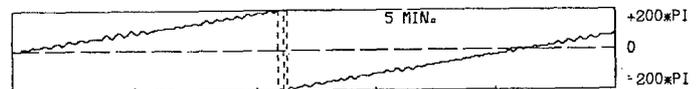


Fig. A : Evolution de la phase $[\phi(t)]$ en P.V.

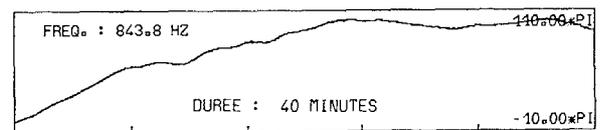


Fig. B : Evolution de la phase $[\phi(t)]$ en P.H.

On voit nettement sur les figures A et B que la modulation de fréquence est prépondérante. Elle se manifeste par une rampe, stable pour la P.V. (pas de Doppler), très lentement fluctuante au cours du temps pour la P.H. (variation lente du Doppler). La pente de la rampe permet d'évaluer la valeur du terme " $\Delta \nu$ " (4). Ainsi sur la fig. A, on voit que la phase tourne de 200π en 100 sec, ce qui correspond à un écart fréquentiel faible, $\Delta \nu = 1$ Hz (rappelons que les fréquences émises sont voisines de 25 KHz).

Cette modulation de fréquence se retrouve de façon identique sur toutes les raies émises. Comme elle prend l'allure d'une variation très basse fréquence, il est possible de l'éliminer (par régression linéaire sur des tranches d'une minute par exemple) et d'avoir ainsi accès à la modulation de phase $\psi(t)$ (4) qui du point de vue de la connaissance du milieu est beaucoup plus riche en informations.

ALTERATION DE LA PHASE DANS UNE TRANSMISSION EN ACOUSTIQUE
 SOUS-MARINE
 PHASE DEFORMATION IN A SUBMARINE ACOUSTICAL TRANSMISSION

2-2 Modulation de phase -

Cette modulation est plus représentative de l'action du milieu sous-marin sur la phase, et son étude sera donc plus constructive dans l'élaboration d'une modélisation.

2-2-1 Etude en propagation horizontale

La figure C représente l'évolution du terme de modulation de phase $\Psi(t)$ sur des tranches temporelles d'une minute pour les différentes fréquences émises simultanément. La modulation est de faible amplitude ($\pm \pi/4$). A certaines fréquences on remarque une périodicité de 4 secondes environ. Il faut noter enfin que, même pour des raies proches (1 Hertz), les modulations ne présentent pas les mêmes évolutions.

Ceci semble vouloir dire que l'on ne peut pas faire de traitement cohérent. En réalité, une telle conclusion est fautive, comme nous avons pu le constater en réalisant des filtrages adaptés au cours de séquences analogues pour lesquelles le signal émis était modulé en phase et durait plusieurs secondes ($128 < BT < 512$). Nous n'étions pas sensible à la modulation de fréquence du fait d'un filtrage multi-doppler. La modulation résiduelle de phase étant centrée et de faible amplitude, les performances (compression) ne s'en ressentent pas.

Ces mesures ne sont pas adéquates pour infirmer ou confirmer l'hypothèse d'un modèle de Rayleigh [2] (loi de phase équirépartie sur $-\pi, +\pi$). En effet, nous avons vu dans une précédente étude [3] sur la puissance instantanée $[A^2(t)]$ dans (1) que les tests du modèle de Rayleigh (dans des conditions de propagation analogues), ne convergeaient qu'au bout de 40 minutes. Ici les conclusions résultent de l'observation sur des tranches d'une minute.

2-2-2 Etude en propagation verticale

En propagation verticale, les phénomènes observés (fig. D), sont complètement différents.

La modulation est de forte amplitude (24π) et sa fréquence est de l'ordre de grandeur d'une fréquence de houle. Le tracé de la densité spectrale de puissance de cette modulation de phase illustre clairement cette prédominance de la houle (fig. E)

Sur la figure D, on note l'excellente corrélation qui existe entre les différentes évolutions (les écarts fréquentiels entre les raies sont au plus de 10%).

Pour la propagation verticale à 500 m, nous disposons d'un enregistrement de roulis réalisé simultanément à l'émission du peigne de fréquences. On peut considérer que ce signal représente la houle filtrée par le bateau.

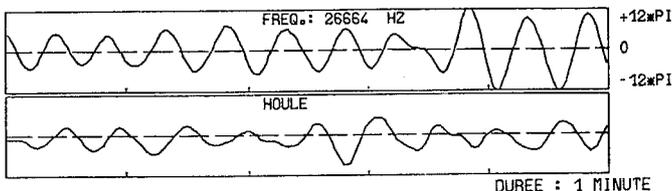
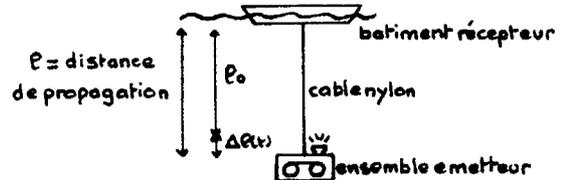


Fig. F : Evolution phase $\Psi(t)$ -houle (P.V)

Sur la figure F, on voit les évolutions de la modulation de phase et de la houle. Si les amplitudes ne semblent pas liées, la corrélation au niveau des fréquences est évidente. Nous avons analysé plus précisément cette dépendance phase-houle en traçant le coefficient de cohérence (fig. G) entre ces 2 signaux. On constate bien au voisinage de la fréquence de la houle une remontée du module et une stabilisation de la phase.

Il est possible ainsi de trouver un filtre qui, à partir de la houle permettrait d'estimer une évolution de la phase, estimation que l'on pourrait retrancher de l'évolution vraie pour en diminuer la dynamique.

On peut essayer d'expliquer cette modulation par la houle en étudiant les conditions de propagation.



On émet l'hypothèse que la houle entretient une oscillation de l'ensemble câble-émetteur, si bien que l'on peut écrire que la distance de propagation est

$$l(t) = l_0 + a(t) \cos[2\pi \nu_{Houle} t + \delta_0] = l_0 + \Delta l(t) \quad (5)$$

La réception à l'instant t provient d'une émission à l'instant $t-T$. Le temps de transmission T est tel que

$$C \cdot T = l(t) \quad C = \text{vitesse de propagation} \quad (6)$$

Ainsi

$$T = \frac{l(t)}{C} = \frac{l_0}{C} - a(t)/C \cdot \cos[2\pi \nu_{Houle} t + \delta_0] \quad (7)$$

Ainsi

$$R(t) = E(t-T) = A(t) \cos[2\pi \nu_0 t + \frac{2\pi \nu_0 a(t)}{C} \cos(2\pi \nu_{Houle} t + \delta_0) + \phi_0] \quad (8)$$

D'où

$$\Psi(t) = \frac{2\pi \nu_0 a(t)}{C} \cos(2\pi \nu_{Houle} t + \delta_0) \quad (9)$$

↓
 Ψ_0



ALTERATION DE LA PHASE DANS UNE TRANSMISSION EN ACOUSTIQUE
SOUS-MARINE
PHASE DEFORMATION IN A SUBMARINE ACOUSTICAL TRANSMISSION

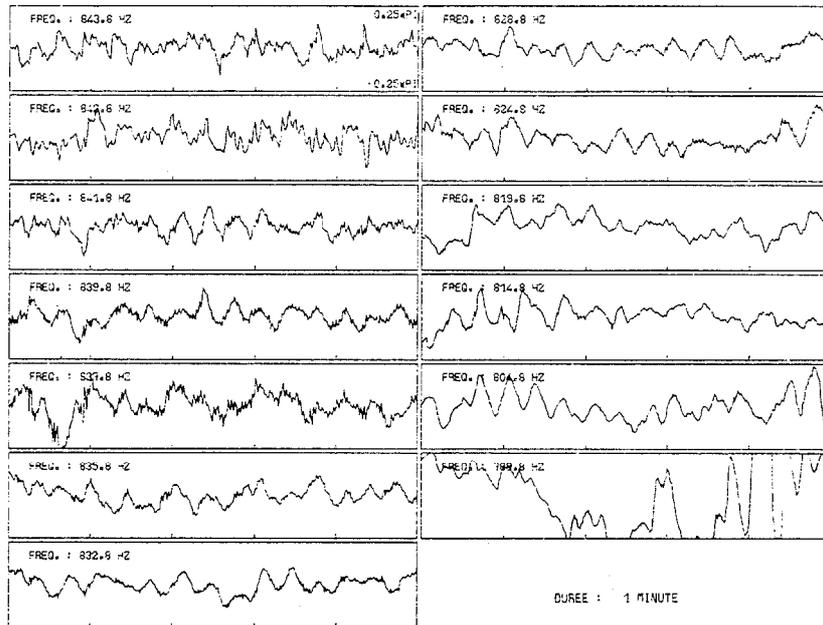


Fig. C : Evolution de la phase (terme $\Psi(t)$) pour différentes fréquences (P.H.)

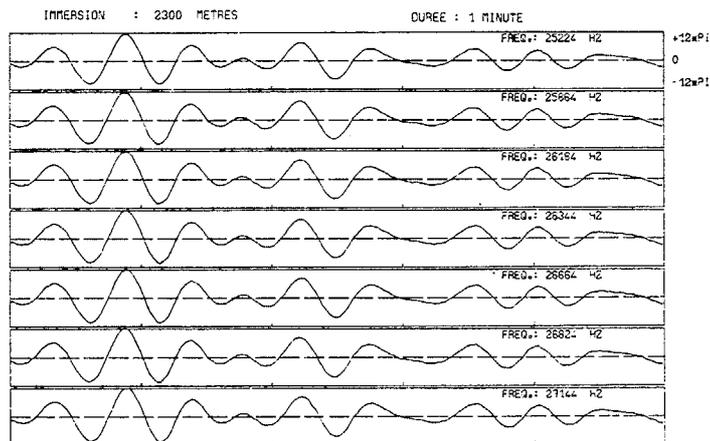


Fig. D : Evolution de la phase [$\Psi(t)$] pour différentes fréquences (P.V.)

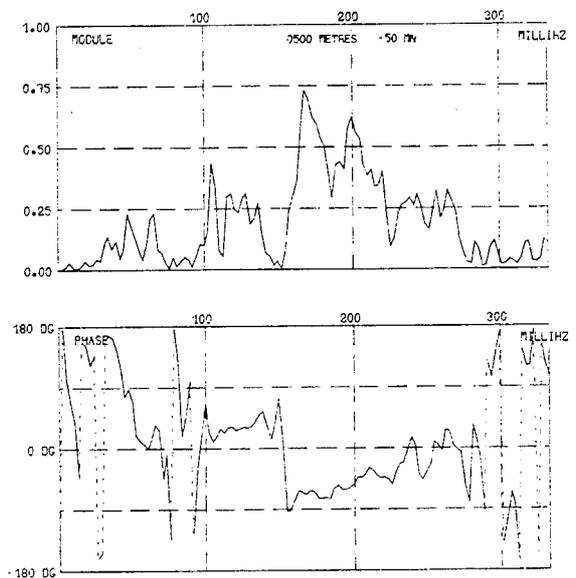
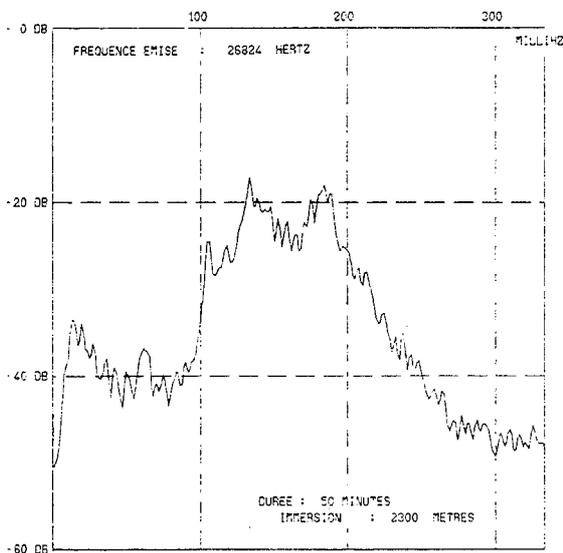


Fig. E : Densité spectrale puissance de $\Psi(t)$ (P.V.) Fig. G : Cohérence phase - houle (P.V.)

ALTERATION DE LA PHASE DANS UNE TRANSMISSION EN ACOUSTIQUE
SOUS-MARINE
PHASE DEFORMATION IN A SUBMARINE ACOUSTICAL TRANSMISSION

C'est bien une fluctuation de cette forme que l'on observe (fig. D). Pour confirmer cette modélisation, nous avons vérifié que l'amplitude de la modulation est bien proportionnelle à la fréquence émise (cf fig. H)

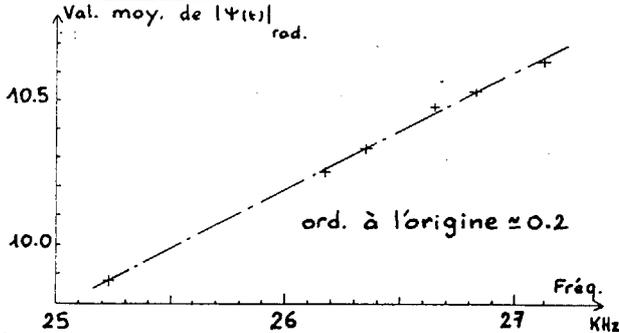


fig. H : proportionnalité de Ψ_0 (9) avec la fréquence (P.V.)

Un ordre de grandeur de cette oscillation peut être calculé à partir de l'amplitude des fluctuations de $\Psi(t)$. On trouve une amplitude maximale d'oscillation d'environ 75cm (ce qui est tout à fait envisageable pour un câble de nylon de plusieurs centaines de mètres) qui va se traduire par un déplacement relatif de la fréquence de + 15 Hz.

2-2-3 Analyse interspectrale

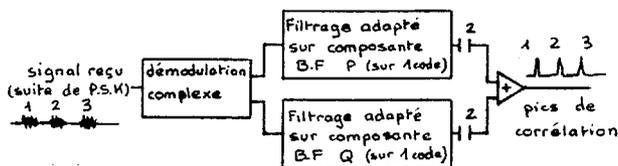
Le tracé du coefficient de cohérence entre les modulations de phase [$\Psi(t)$] obtenues pour les différentes fréquences, va nous permettre d'évaluer plus précisément une éventuelle corrélation. En propagation horizontale, l'analyse interspectrale fig. I (0 à 500 m Hz) confirme l'absence de cohérence, même pour des raies proches. Les fluctuations de faible amplitude de la phase peuvent donc être assimilées à un bruit. En propagation verticale, au voisinage de la fréquence de la houle, la cohérence est très bonne (module voisin de 1 et phase stable) (cf fig. J). De plus, cette cohérence se retrouve sur toute la gamme de fréquence étudiée.

III APPLICATION A UN EXEMPLE DE TRANSMISSION

Nous allons voir comment l'étude et la connaissance de la phase peuvent être utilisées pour améliorer la réception d'une transmission d'information altérée par un glissement de phase.

Les signaux que nous cherchons à transmettre sont des P.S.K. de produit BT=512 (20 périodes / bit - fréquence porteuse = 26504 Hz). Le problème se pose dans une transmission verticale analogue à celle étudiée précédemment, c'est à dire avec une modulation de phase entraînant un déplacement fréquentiel pouvant aller jusqu'à 15 Hz

3-1 Méthode classique (traitée dans [6])



Principe de la méthode classique

L'utilisation d'une démodulation classique donne les résultats présentés sur la figure L. On voit que certains codes ne sont pas détectés. Ceci s'explique par le fait que nous avons un signal d'une faible tolérance Doppler ($1/T \approx 2,5\text{Hz}$). Le glissement de + 15 Hz est ainsi supérieur à l'écart permis pour que le niveau de sortie du filtre adapté ne soit pas fortement atténué.

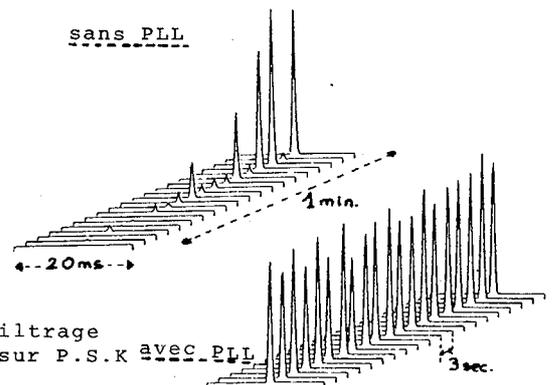
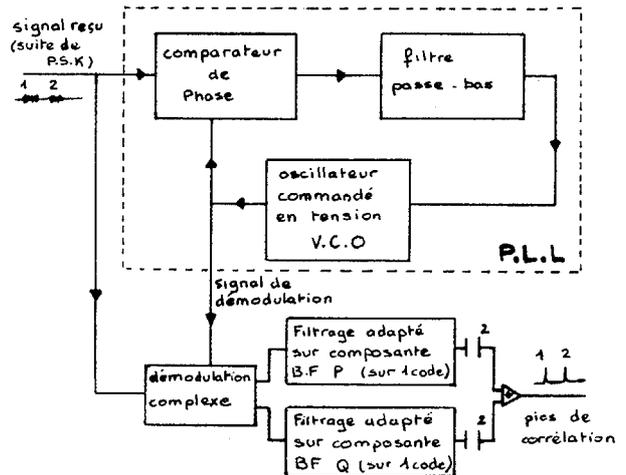


Fig.L Filtrage adapté sur P.S.K avec PLL

3-2 Utilisation d'une boucle à verrouillage de phase

La démodulation est maintenant réalisée par une fréquence donnée par une boucle à verrouillage de phase (P.L.L) [4]. Le signal reçu est élevé au carré afin de s'affranchir de la modulation de phase. On obtient ainsi une fréquence double qui est affectée de la même modulation (au rapport 2 près) que la porteuse du PSK et sur laquelle la PLL s'asservit pour fournir après division par deux la fréquence de démodulation.



Principe de la méthode avec PLL

Les résultats ainsi obtenus sont donnés en figure L. Le gain du traitement est remarquable. Tous les codes sont parfaitement détectés.

En considérant maintenant une simple démodulation (toujours avec P.L.L.) et une prise de décision au niveau du bit élémentaire, on observe un taux d'erreur nul sur une étude de 40 minutes.



ALTERATION DE LA PHASE DANS UNE TRANSMISSION EN ACOUSTIQUE
SOUS-MARINE
PHASE DEFORMATION IN A SUBMARINE ACOUSTICAL TRANSMISSION

CONCLUSION

En T.V., une simple étude de l'altération de la phase au cours d'une transmission de fréquences pures nous a permis une première modélisation du milieu

$$E(t) \left\{ \begin{array}{l} \text{milieu} \\ \text{de} \\ \text{propagation} \end{array} \right\} \longrightarrow K(t) \cdot E(t - T(t))$$

où $T(t) = a(t) \cdot \cos(2\pi \gamma_{\text{onde}} t + \delta_0)$

(La modulation d'amplitude $K(t)$ est étudiée dans [5]). Cette modulation permet d'adapter le récepteur et d'augmenter le débit d'un système de communication.

En T.H., l'étude de la phase ne nous a pas apporté beaucoup d'informations quant à la modélisation du milieu.

On peut donc tirer deux enseignements de cette étude :

- Le modèle choisi doit être adapté au cas étudié et tenir compte du but poursuivi.
- L'étude conjointe des phases et des puissances instantanées pour des raies émises simultanément permet une modélisation complète du milieu de propagation

BIBLIOGRAPHIE

- [0] Filtres linéaires et non stationnaires. Modèles, simulations et applications. Thèse D.E. - U.S.M.G. - INPG GRENOBLE
- [1] J.Y. JOURDAIN Démodulation complexe Rapport CEPHAG N° 1/80
- [2] WOZENCRAFT and JACOBS Principles of Communication Engineering
- [3] J.Y. JOURDAIN, P. LAMBERT Transmission acoustique de signaux monochromatiques Extrait de la revue du CETHEDC 17e année 2ème trimestre 1980
- [4] SOMESHWAR G. GUPTA Phase LOOK-LOOP Proceedings of the IEEE, february 75
- [5] J.Y. JOURDAIN - P. LAMBERT - G. REVOL Communication Verticale Rapport CEPHAG N° 15/80
- [6] B. FAURE Estimation de la fonction de diffusion d'un milieu réel Rapport CEPHAG N° 24/79

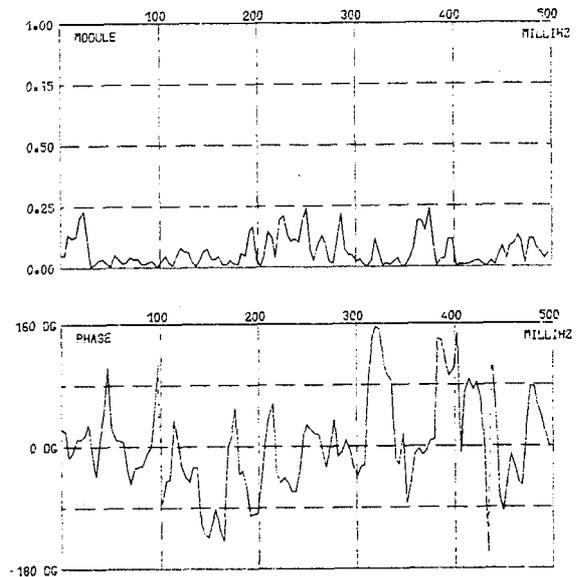


Fig. I Cohérence de $\Psi(t)$ entre les raies 841,8 Hz et 842,8 Hz (P.H.)

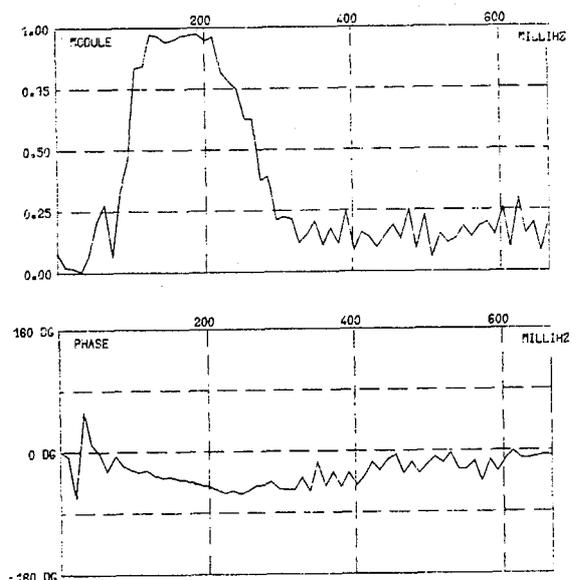


Fig. J : cohérence de $\Psi(t)$ entre les raies 25864 Hz et 26824 Hz (P.V.)