



## MODELISATION DES ERREURS DES SONARS A EFFET DOPPLER

C. GULLI, J. LE GALL, J. LEVREY

THOMSON SINTRA Activités Sous-Marines

Route de Sainte Anne du Portzic 29601 BREST CEDEX - FRANCE

### RESUME

On rappelle brièvement les principes de base de l'effet Doppler, en décrivant le type de configuration adoptée pour la mesure du vecteur vitesse d'un porteur. Une contribution relative de chaque source d'erreurs est fournie en essayant de dégager un modèle exhaustif et réaliste. On s'attache à démontrer leur importance relative, en quantifiant leur influence

sur les performances du sonar de navigation. Un prototype permettant d'estimer la validité du modèle a été réalisé. Le formalisme qui a été mis en place s'avère efficace pour prédire les performances des sonars à effet Doppler.

### SUMMARY

The basic principles of Doppler effect are summarized in this description of the type of configuration adapted for measuring a carrier speed vector. A relative contribution is made for each source of error in an attempt to locate an exhaustive and realistic target. An effort is made to demon-

strate their relative importance by quantifying their influence on the performance of the navigation sonar. A prototype gives an estimate of the validity of the model ; the model which has been set up is proving effective for predicting the performance of the Doppler sonar.

#### INTRODUCTION

Les sonars utilisant l'effet Doppler permettent la navigation à l'estime par intégration des vitesses et après rotation en cap. Ils sont, en outre, utilisés pour la mesure d'un décalage entre deux images sonars. On analyse ici les différentes sources d'erreurs de la mesure de vitesse effectuée par un sonar à effet Doppler utilisant la configuration JANUS.

Généralement, les erreurs sont scindées en trois types majeurs :

- . erreurs accidentelles
- . erreurs systématiques
- . erreurs aléatoires

Les premières conduisent à des mesures aberrantes; elles sont dues à une anomalie momentanée, soit du milieu de propagation (bulles ou algues), soit à la présence d'un écho élevé intercepté par les lobes secondaires de l'antenne. Il ne sera pas tenu compte, dans ce qui suit, de ces problèmes considérés comme des artefacts. Pour remédier à leur présence, on opère une réjection de ces données aberrantes, par interpolation linéaire et seuillage. L'approche théorique proposée a été validée par une série d'expérimentations. Une première phase de mesure a été axée sur la correction des mouvements du porteur et la détermination de l'étalement spectral lié au lobe. Plusieurs techniques de détermination de la fréquence moyenne ont été testées. La dernière phase orientée vers les tracés de navigation a permis de tester le dispositif sur plusieurs natures de relief marin.

Les tracés des vitesses réalisées en fonction du temps et des diverses variables ont permis l'élaboration de tableaux comparatifs. On explicite les données en terme de corrélation, en indiquant la nature statistique des tracés. Des similitudes ont été dégagées entre mouvements de porteur et variations des vitesses sur les quatre faisceaux. Les corrections d'angle, liées à l'attitude du porteur, ont été effectuées par diverses méthodes. On montrera une visualisation 3D des spectres instantanés normalisés, pour apprécier l'étalement spectral dû au lobe de l'antenne et à la vitesse du porteur. Pour finir, les écarts entre les routes de navigation utilisant soit l'intégration des vitesses Doppler, soit un système de radionavigation Syledis Type SR3 de Sercel, seront présentés.

#### 2. FONDAMENTS THEORIQUES

Soient  $s_e(t)$  un signal transmis par un porteur en mouvement, et  $s_r(t)$  le signal reçu par le fond marin. On montre que si l'émission et la réception sont confondues spatialement, la fréquence reçue peut s'écrire :

$$(1) \quad f_r = f_o \frac{1 + \frac{v(t)}{c} \cos \theta_o}{1 - \frac{v(t)}{c} \cos \theta_o}$$

où  $f_o$  est la fréquence émise,  $c$  représente la célérité dans le milieu ( $\approx 1500$ m/s) et  $\theta_o$  l'inclinaison des faisceaux par rapport à l'horizontale, en l'absence de roulis et de tangage.  $v(t)$  est la vitesse du porteur.

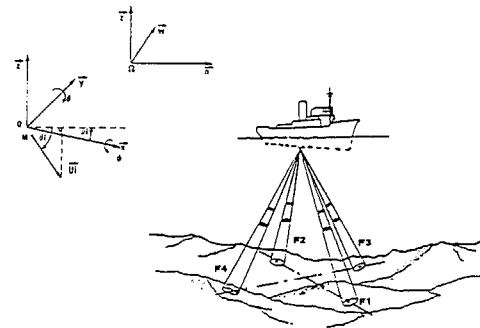


Figure 1 : Configuration JANUS

Après l'utilisation des développements limités, l'équation (1) se réécrit, sous une forme plus classique (4) :

$$(2) \quad f_{\text{Doppler}} = \Delta f = f_r - f_o = \frac{2v(t)}{c} f_o \cos \theta_o$$

Conformément à la figure 1, on adopte la configuration dite de Janus à 4 faisceaux, avec les conventions :

Si le bâtiment est animé d'un mouvement vertical noté  $V_z$  (vitesse de pilonnement), le décalage est alors :

$$(3a) \quad \Delta f_{D1} = \frac{2f_o}{c} (V_L \cos \theta_o - V_z \sin \theta_o) = f_{r1} - f_o$$

$$(3b) \quad \Delta f_{D2} = \frac{2f_o}{c} (-V_L \cos \theta_o - V_z \sin \theta_o) = f_{r2} - f_o$$

$$(3c) \quad \Delta f_{D3} = \frac{2f_o}{c} (V_T \cos \theta_o - V_z \sin \theta_o) = f_{r3} - f_o$$

$$(3d) \quad \Delta f_{D4} = \frac{2f_o}{c} (-V_L \cos \theta_o - V_z \sin \theta_o) = f_{r4} - f_o$$

On en déduit, conformément à la figure 1, les trois composantes orthogonales du vecteur vitesse :

$$(4a) \quad V_L = \frac{c}{4f_o \cos \theta_o} (f_{r1} - f_{r2}) \quad (\text{Vitesse Longitudinale})$$

$$(4b) \quad V_T = \frac{c}{4f_o \cos \theta_o} (f_{r3} - f_{r4}) \quad (\text{Vitesse Transversale})$$

$$(4c) \quad V_z = -\frac{c}{8f_o \cos \theta_o} (\Delta f_{D1} + \Delta f_{D2} + \Delta f_{D3} + \Delta f_{D4})$$

On remarque immédiatement que, grâce à cette configuration, on effectue un moyennage de deux mesures indépendantes qui nous permet, au mieux, de réduire l'écart type sur les vitesses mesurées d'un facteur  $\sqrt{2}$ .



3. MODELE THEORIQUE D'ERREURS

3.1 Globalité du modèle

Le modèle d'erreurs tel qu'il a été défini pour les vitesses longitudinales et transversales s'écrit :

$$\begin{aligned} \Delta v_L(t) &= -1/S \cdot v_L(t) + \Delta v_{VL}(t) + \Delta v_{OL} + x_{1L} + x_{2L}(t) \\ \Delta v_T(t) &= -1/S \cdot v_T(t) - \Delta v_{VT}(t) + \Delta v_{OT} + x_{1T} + x_{2T}(t) \end{aligned}$$

avec  $\Delta v_{OL}$  et  $\Delta v_{OT}$  erreurs moyennes liées aux mouvements du porteur.

- $\Delta\psi$  : erreur de cap, S : rapport S/B
- $x_1(t)$  : bruit blanc à moyenne nulle (mesure de la fréquence) ( $N_1(0, \sigma_1)$ )
- $x_2(t)$  : bruit corrélé dû aux mouvements du porteur ( $N_2(0, \sigma_2)$ ).

La contribution de chacune des sources est définie par les synoptiques figures 2 et 3. Si on étudie la géométrie du problème, on montre qu'il y a trois causes d'erreurs prépondérantes :

- Erreur d'alignement assimilable à un biais sur le cap.  $\Delta\psi$  représente cette erreur de positionnement de la base,
- Erreur de verticalité assimilable à un biais sur  $\theta_0$ ,  $\theta_V$  représente l'erreur d'orientation des faisceaux,
- Erreur liée au "bras de levier" : le barycentre du porteur ne coïncidant pas avec la position de la base. Elle est proportionnelle aux vitesses de rotation en roulis, tangage, cap et aux distances qui séparent la base et le métacentre (OM est cette distance  $\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$ ).

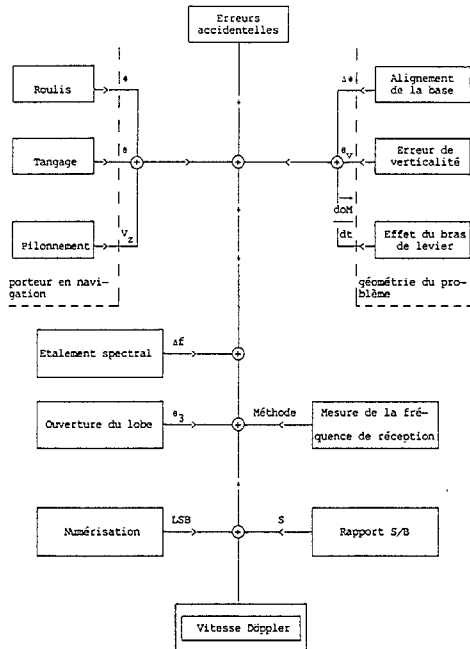


Figure 2 : Globalité du modèle

$\theta_3$  représente l'ouverture du lobe à -3 dB,  $\psi$  et  $\theta$  sont le roulis et le tangage associés au porteur. La figure 3 indique l'expression analytique au premier ordre des différentes sources.

Les données recueillies se décomposent comme suit :

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| - Syledis SR3            | - Centrale de verticale |
| - Cap (degrés)           | - Roulis (degré)        |
| - Position X (en mètres) | - Tangage (degré)       |
| - position Y (en mètres) |                         |

Rappelons que les valeurs aberrantes ne pas prises en compte dans le modèle. On peut cependant les assimiler à une erreur décorrélée à moyenne nulle. Son écart type sera inclus dans celui de l'erreur due à la mesure de la fréquence de réception. On supposera qu'elle affecte indépendamment les quatre faisceaux.

Chaque faisceau (incliné à 30° par rapport à la verticale) comporte trois céramiques concentriques que l'on peut associer en parallèle pour disposer de plusieurs diagrammes de directivité. Les signaux sont transposés en bande de base pour pouvoir effectuer un enregistrement magnétique analogique.

Les essais ont permis de faire varier les paramètres suivants :

- vitesse du porteur
- ouverture du lobe
- S/B en réception
- type de fond

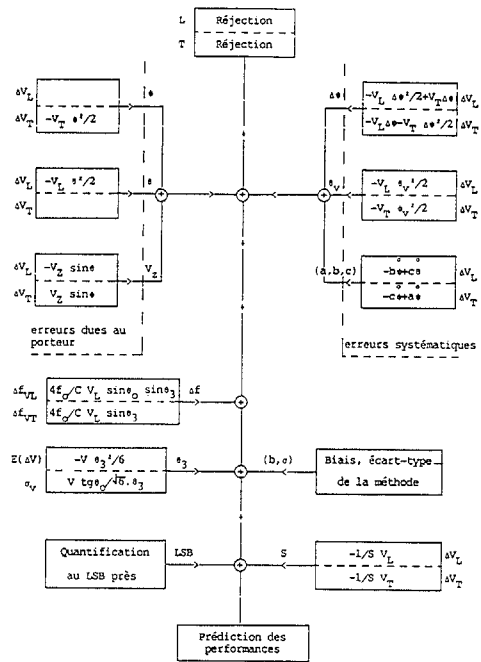


Figure 3 : Modèle des dégradations au premier ordre

Le signal reçu est la résultante des éléments du fond, contenus dans le lobe ; si les diffuseurs discrets ne sont pas régulièrement répartis, ou si un écho prépondérant se trouve sur la périphérie de la surface d'insonification, il est alors possible que l'angle réel ne corresponde pas à  $\theta_0$ . Cette insonification, ici de type elliptique, induit par décomposition orthogonale des vitesses, des composantes radiales sur  $v_L$ .

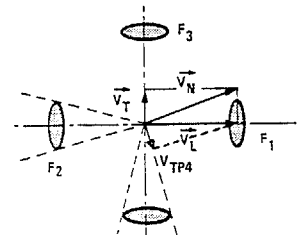


Figure 4 : Composition des faisceaux sur le fond

3.2 Limitation du modèle

L'expression (4.c) suppose une détermination simultanée des vitesses longitudinales et transversales, or, pour des raisons d'interférence et de difficultés techniques, on se ramène à émettre sur les deux faisceaux longitudinaux, puis sur les deux faisceaux transversaux. Les quatre composantes qui servent à la détermination de  $v_z$  ne sont donc pas concomitantes. On a considéré, dans le cadre de cette étude, que les vitesses étaient fournies par l'intermédiaire d'un lobe émission-réception parfaitement recoupé. En fait, si le lobe est très étroit, il faut tenir compte du temps aller-retour, on trouve un écart angulaire entre  $\theta_E$  et  $\theta_R$  si  $v$  est la vitesse du porteur qui s'écrit :

$$(6) \quad \theta_E - \theta_R = \Delta\theta = \frac{2v}{c} \sin\theta_0$$

L'écart angulaire ne dépend pas de la hauteur d'eau sous le porteur. On veut, de plus émettre une raie fréquentielle la plus étroite possible d'où la nécessité d'une longueur d'impulsion émise importante. Il peut se produire alors une variation de vitesse du porteur intra-récurrence. Le décalage supplémentaire est alors :

$$(7) \quad \Delta f_{DP} = \frac{2\Delta v}{c} f_0 \cos\theta_0 \quad \text{où } \Delta v \text{ représente cette variation}$$

La corrélation sera perdue si (7) >  $T^{-1}$ .

4. PRESENTATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

4.1 Description du prototype

Afin de tester indépendamment les diverses sources d'erreurs, on a réalisé une maquette permettant l'accès aux différents paramètres. Le dispositif est représenté figure 5. Une visualisation temps réel des sorties interférées confirme le bon déroulement de la mesure. Un clavier de commande incorporé à la console de visualisation permet à tout moment de faire varier un paramètre.

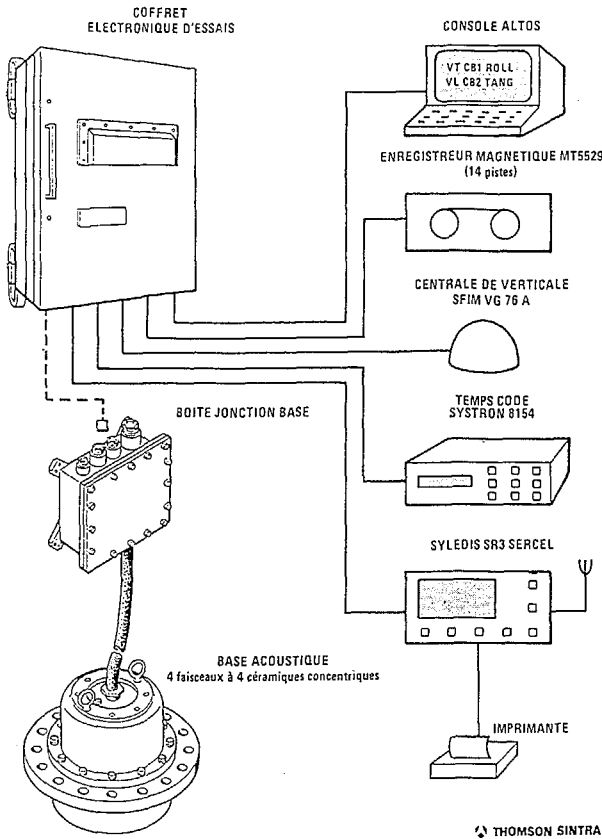


Figure 5 : Dispositif expérimental ( $f_0 = 300\text{kHz}$ )

Les données recueillies se décomposent comme suit :

- Syledis SR3
- Centrale de verticale
- Cap (degrés)
- Roulis (degré)
- Position X (en mètres)
- Tangage (degré)
- position Y (en mètres)

5. CORRECTION DE L'ATTITUDE DU PORTEUR

5.1 Méthodes envisagées

Dans le premier cas, aucune fonction correctrice n'est envisagée, on suppose que les mouvements n'affectent pas le dispositif. On remonte à la détermination de la vitesse instantanée par les formules classiques (4.a) (4.b). Dans le deuxième cas, (Méthode 2), on mesure le roulis et le tangage. On considère que les faisceaux longitudinaux sont affectés par le tangage et que, indépendamment, le roulis affecte les faisceaux transversaux. Conformément à nos notations (figure 1), il vient :

$$(8) \begin{matrix} \theta_{01} = \theta_0 + \theta + \Delta\theta & \text{avec } \theta_0 = 60^\circ \\ \theta_{02} = \theta_0 - \theta - \Delta\theta & \theta + \Delta\theta : \text{tangage mesuré} \\ \theta_{03} = \theta_0 - \theta - \Delta\theta & \theta + \Delta\theta : \text{roulis mesuré} \\ \theta_{04} = \theta_0 + \theta + \Delta\theta & \Delta\theta, \Delta\phi : \text{erreurs de mesure} \\ & \phi \text{ représente le cap.} \end{matrix}$$

On en déduit :

$$(9) V_i = \frac{C(f_{r1} - f_0)}{2f_0} \cdot \frac{1}{\cos\theta_i} \quad \text{ou} \quad V_i = \frac{\vec{V}_E \vec{U}_{iE} + \vec{V}_R \vec{U}_{iR}}{2\cos\theta_i}$$

Dans la dernière méthode, on effectue le passage trièdre Doppler ( $T_D$ ) trièdre absolu ( $T_R$ ) par deux matrices de rotation :

$$\text{roulis } M_1(\theta) \hat{=} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \text{ et tangage } M_2(\theta) \hat{=} \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$\vec{V}_R = M^{-1} \cdot \vec{V}_D \quad \text{avec} \quad M^{-1} = M_2(-\theta) \cdot M_1(-\phi)$$

5.2 Effet de "bras de levier"

En se référant à la figure 1, on peut déduire la vitesse du métacentre du porteur par :

$$\vec{V}_H = \vec{V}_O + \frac{d \vec{OH}}{dt} \quad (10) \quad \frac{d \vec{OH}}{dt} \text{ (liée au bras de levier)}$$

soit  $\vec{D} \hat{=} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$ , le vecteur distance base Doppler-Métacentre.

$$\text{on a } \vec{V}_H = \vec{V}_O + \frac{3}{2c} [M_3(-\phi) \cdot M_2(-\theta) \cdot M_1(-\phi) \cdot \vec{D}] \quad (11)$$

où  $M_3$  est la matrice de rotation en cap.

Il vient au premier ordre :

$$\vec{V}_H = \vec{V}_O + \begin{pmatrix} -b\dot{\phi} + c\dot{\theta} \\ a\dot{\phi} - c\dot{\theta} \\ c\dot{\phi} - a\dot{\theta} + b\dot{\phi} \end{pmatrix} \quad (12)$$

où  $\dot{\theta}$ ,  $\dot{\phi}$ ,  $\dot{\psi}$  sont respectivement les vitesses de rotation en tangage, cap, roulis.

$$\Delta V_{L3} = V_{L3} - V_L = \Delta\phi \cdot V_T + \Delta\theta \cdot V_Z \quad (13a)$$

$$\Delta V_{T3} = V_{T3} - V_T = -\Delta\phi \cdot V_L - \Delta\theta \cdot V_Z \quad (13b)$$

$$\Delta V_{Z3} = V_{Z3} - V_Z = -\Delta\theta \cdot V_L + \Delta\phi \cdot V_T \quad (13c)$$

( $V_{L3}$ ,  $V_{T3}$ ,  $V_{Z3}$ ) représente le vecteur vitesse après correction roulis tangage. Les corrections n'excèdent pas 4cm/sec pour une mer force 1. Les figures 9a et 9b montrent l'allure temporelle des mouvements qui affectent le navire. La représentation (figures 10 et 11) indique les variations de la vitesse longitudinale (# 4Nd) et transversale (#0 Nd) sur un laps de temps de plus de 7mn. On peut noter l'existence de plusieurs artéfacts. Le tracé des faisceaux  $F_1$  à  $F_4$  montre que l'écart type brut de mesure est nettement plus important. Les figures 12a et 12b visualisent le degré de similitude entre l'autocorrélation des vitesses ( $V_L$ ,  $V_T$ ) en trait plein et l'autocorrélation des mouvements (pointillés). Ce type de représentation permet, après centrage du signal, de mesurer la puissance de l'erreur décorrélée ( $\sigma^2 = C_{xx}(0) = \int S_{xx}(f)df$ ).

6. METHODES DE MESURES DE LA FREQUENCE INSTANTANEE

6.1 Comptage des passage par zéro

On démontre [2] que la fréquence déterminée par cette méthode est le moment d'ordre 2 du spectre (fréquence quadratique). Elle opère sur le signal transposé en fréquence intermédiaire.

$$\hat{f} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\int \omega^2 S(\omega) d\omega}{\int S(\omega) d\omega}} \quad (14)$$

On trouve pour la mesure :

$$\text{Biais : } \Delta V_L = -\frac{1}{1+S} \cdot V_L \quad (15)$$

$$\text{Ecart type : } \sigma V_L = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ \frac{S}{1+S} \sigma_D^2 + \frac{1}{1+S} \sigma_B^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

$\sigma_D$  est lié à l'étalement Doppler ( $\sigma_D^2 = \frac{1}{2} [2V_L \cdot \text{tg}\theta_0 \cdot \sin\theta_3]^2$ ) (17)  
 $\sigma_B$  est lié au nombre d'échantillons indépendants

$$(18) \quad (\sigma_B^2 = \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{C}{2f_0 \cos\theta_0}\right)^2 \Delta f^2) \text{ pour un échantillon.}$$

$\Delta f$  : bande du bruit ; S : Rapport signal bruit

On donne une représentation des vitesses obtenues par cette estimation figure 11.

6.2 Par moment d'ordre 1 du periodogramme

On forme :

$$\hat{S}_k = \left| \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} x_i \cdot \exp(-j \frac{2\pi}{M} ik) \right|^2 \quad (19)$$

où  $\hat{S}_k$  : l'estimée du kième échantillon du périodogramme

M : nombre d'échantillons

$x_i$  : ième échantillon complexe

La fréquence moyenne est alors :

$$(20) \quad \hat{f}_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} f_i S(f_i)}{\sum_{i=0}^{M-1} S(f_i)}$$

6.3 Par DSP seuillée

On remplace dans le calcul de (20),  $S(f_i)$  par  $S_s(f_i)$  où :

$$S_s(f_i) = \begin{cases} S(f_i) & \text{si } \frac{S(f)}{S(f_1)} < K^{-1} \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

On montre [3] que cette estimation n'est biaisée tant que  $(S/B)_{dB} > (K)_{dB}$ .

6.4 Covariance (Pulse Pair Processing)

L'autocorrélation  $C_{xxD}(\tau)$  du signal Doppler peut se mettre sous la forme :

$$C_{xxD}(\tau) = C_{xx1}(\tau) + C_{xx2}(\tau) \quad (22)$$



On montre [3] que :

$$(23) \hat{f}_{moy} = \frac{1}{j2\pi} \frac{\frac{dC_{xx1}(\tau)}{d\tau} \Big|_{\tau=0}}{C_{xx1}(0)} \text{ devient } (24) \hat{f}_{moy} = \frac{1}{2\pi\tau} \text{Arc tg} \frac{\text{Im}(C_{xx}(\tau))}{\text{Re}(C_{xx}(\tau))}$$

C'est une méthode qui opère en bande de base (après démodulation complexe) sur le signal complexe. L'estimateur de la covariance est :

$$C_{xx}(\tau) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} x_i^* x_{i+1} \text{ où } * \text{ désigne le conjugué et } \tau = t_{i+1} - t_i$$

6.5 Changement de phase scalaire

La variation moyenne de phase est estimée par :

$$(26) \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta\phi_n = \overline{\Delta\phi_n} \text{ avec } \overline{\Delta\phi_n} \neq \phi_1(\tau) \text{ d'où}$$

$$(27) \hat{f}_{moy} = \frac{1}{2\pi\tau} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Arc tg} \frac{\sin(\theta_{i+1} - \theta_i)}{\cos(\theta_{i+1} - \theta_i)}$$

6.6 Changement de phase vectoriel

Si le module de  $C_{xx}(\tau)$  ne varie pas trop entre  $t_i$  et  $t_{i+1}$ , la fréquence moyenne peut s'écrire :

$$(28) \hat{f}_{moy} = \frac{1}{2\pi\tau} \cdot \text{Arc tg} \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sin(\theta_{i+1} - \theta_i)}{\sum_{i=0}^{M-1} \cos(\theta_{i+1} - \theta_i)}$$

6.7 Résultats obtenus

L'estimation de la fréquence a été testée par les méthodes décrites précédemment. L'indication de la puissance de l'erreur liée à la mesure de fréquence de réception est fournie par la valeur zéro de l'autocorrélation des vitesses. Le tracé temporel d'une vitesse longitudinale de valeur nominale proche de 2,2 Nds est présenté figure 15. Une composante BF (basse fréquence) est notablement identifiable, elle correspond à la partie de l'erreur corrélée au mouvement. La composante HF est, quant à elle, liée à l'estimateur de fréquence moyenne. La covariance et la DSP seuillée possèdent le tracé le moins perturbé, seule persiste la composante BF. La figure 6 résume les performances observées.

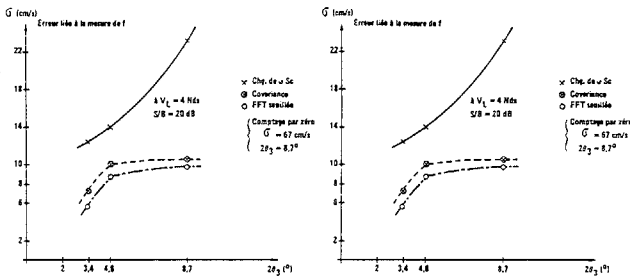


Figure 6 : Précision des estimateurs de fréquence instantanée

Les spectres d'amplitudes (pointillés) ou les densités spectrales de puissance (traits pleins) sont fournis figure 13 pour une vitesse de 12 Nds (décalage de 1,2 kHz à 300 kHz). La position du seuil pour l'estimateur "DSP seuillée" est indiquée ( $K_1$  : faisceau avant ;  $K_2$  : faisceau arrière). Cette information est complétée par un tracé 3D où l'on distingue clairement la prise en compte du décalage arrière par le faisceau avant et réciproquement (Figures 14a, 14b).

7. ETALEMENT SPECTRAL

Si on raisonne dans le domaine fréquentiel, on s'aperçoit que la fréquence  $f_c$  reçue n'a pas l'allure d'un Dirac, car plusieurs perturbations viennent étaler le spectre. La fréquence émise a nécessairement une durée limitée.

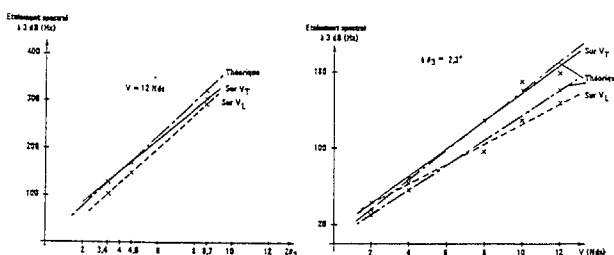


Figure 7 : Etalement spectral théorique et mesuré

De plus, l'étalement effectif résulte d'une convolution par le lobe de l'antenne. Les calculs donnent à 3 dB :

$$(29) \Delta f_D \text{ sur } V_L = 4 f_0 \frac{V_L}{c} \sin\theta_0 \sin\theta_3$$

$$(30) \Delta f_D \text{ sur } V_T = \frac{4 f_0}{c} V_L \sin\theta_3$$

8. LE SONAR DOPPLER EN NAVIGATION

Dans ce paragraphe, on ne peut considérer le sonar pris isolément mais comme faisant partie d'un équipement de navigation. Le capteur de cap est constitué, dans notre cas, par les données fournies par le système Syledis. La route obtenue est comparée au système de radiolocalisation Syledis SR3 ; ce moyen sera pris comme référence. Son principe de fonctionnement consiste à déterminer les distances entre le point mobile et au moins deux balises. Dans le mode hyperbolique, le mobile reçoit des impulsions émises périodiquement et mesure l'écart d'arrivée. Le point pertinent est alors situé à l'intersection de réseaux d'hyperboles. La figure 16 montre un exemple de navigation sur 1 400 m.

On constate que le doppler fournit une position en deçà de la valeur de référence. Rappelons que la méthode des passages par zéro utilisée pour cette intégration possède un biais (inversement proportionnel au S/B). Les erreurs de position sont entièrement déterminées par les moyennes des erreurs de vitesses longitudinales et transversales.

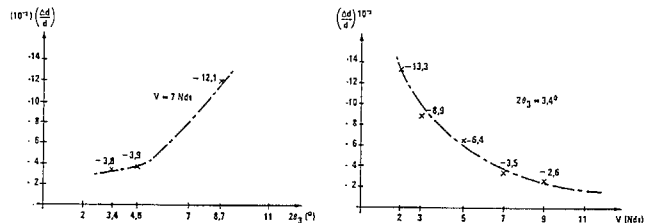


Figure 8 : Erreurs relatives de navigation

Rappelons ici qu'il ne suffit pas de fixer le cap nominal à la valeur désirée pour avoir une trajectoire réelle orientée à cette valeur. En effet, le roulis, le tangage, le lacet sont des fonctions quasi sinusoïdales, mais leur composition sous forme de produit donne des termes qui ne sont pas toujours à moyenne nulle.

CONCLUSION

Les compensations déterministes appliquées en vue de réduire l'effet de l'attitude du porteur (roulis, tangage) ont permis de quantifier le gain sur la précision finale. Le gain se révèle faible, même par corrections globales, pour l'état de mer rencontré lors des expérimentations. Les deux types d'erreurs (corrélées et décorréliées) ont été mis en évidence. On a visualisé l'effet de l'ouverture variable du lobe de l'antenne sur l'étalement spectral en montrant la validité de l'estimation théorique.

La non-punctualité de la tâche d'insonification a été explicitée en terme de composition parasite des vitesses, là aussi l'expérimentation rejoint la déduction analytique. Le comportement du sonar Doppler en navigation a été envisagé et testé, en remarquant, toutefois, que le système est tributaire de la précision de relevé de cap.

Le modèle théorique, tel qu'il est décrit (5) est confirmé par les données recueillies. Il faut cependant noter la difficulté, face au nombre important de paramètres qui régissent la détermination de la vitesse, de scinder isolément les causes. Les effets sont souvent analogues; par exemple: biais sur le cap et mauvais alignement de la base.

Remerciements

Cette étude a reçu le soutien de la DRET (Direction des Recherches, Etudes et Techniques).

Références

- [1] D.W. JOURDAN, Doppler sonar navigator error propagation and correction Journal of the Institute of Navigation, Vol 32, n° 1, 1985.
- [2] P.N. DENBIGY, Ship velocity determination by Doppler and correlation technique. IEEE Proceedings, Vol.131, part F, n°3, June 1984.
- [3] D. SIRMANS, B. BUMGARNER, Numerical comparison of five frequency estimators. Jour. Applied Meteo, Vol.14, p991-1003, Sept 1975.
- [4] K.B. THERIAULT, Incoherent multibeam Doppler current profiler performance. Part I : Estimate variance, Part II : Spatial response .IEEE Journal of Oceanic engineering. Vol.OE.11, n°1, p7-25, January 1986.

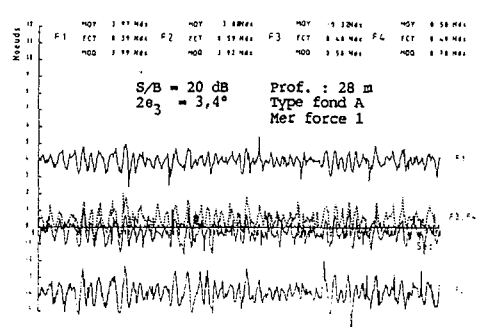
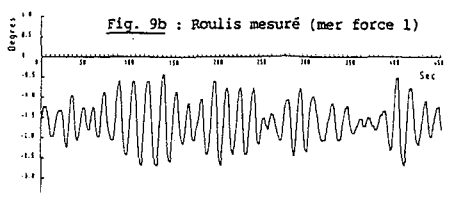
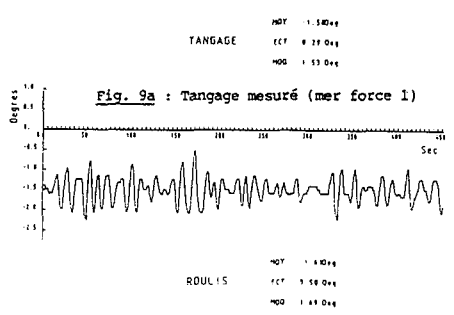


Fig. 10 : Tracé temporel des 4 faisceaux

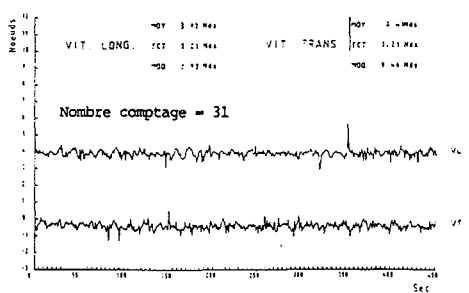


Fig. 11 : Tracé des vitesses longitudinales et transversales

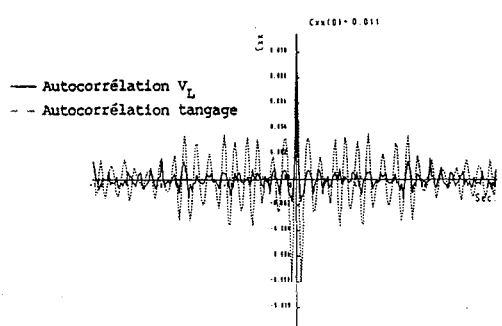


Fig. 12a : Autocorrélations V<sub>L</sub>, θ

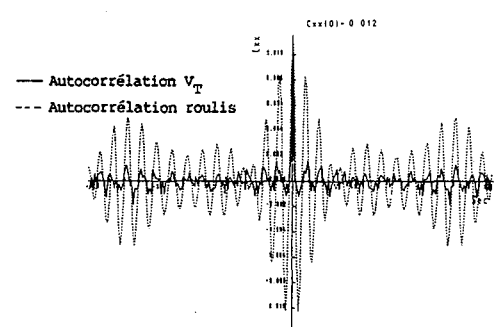


Fig. 12b : Autocorrélations V<sub>T</sub>, φ

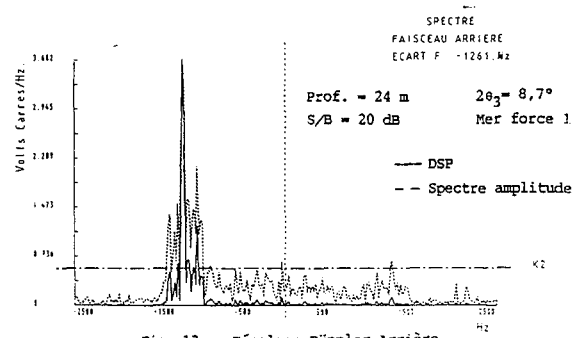


Fig. 13a : Décalage Doppler Arrière

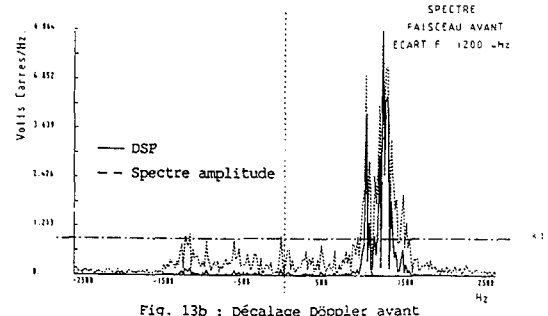


Fig. 13b : Décalage Doppler avant

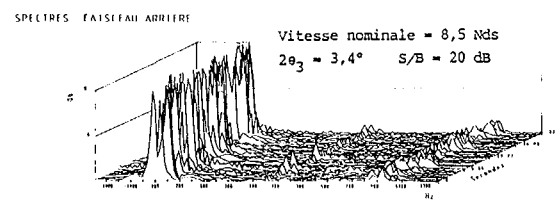


Fig. 14a : Spectre AR 3D Normalisés

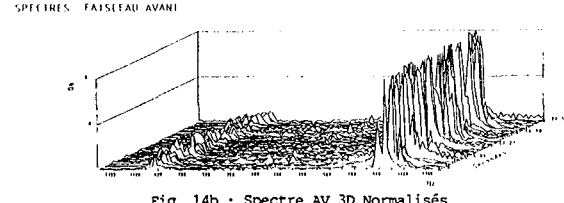


Fig. 14b : Spectre AV 3D Normalisés

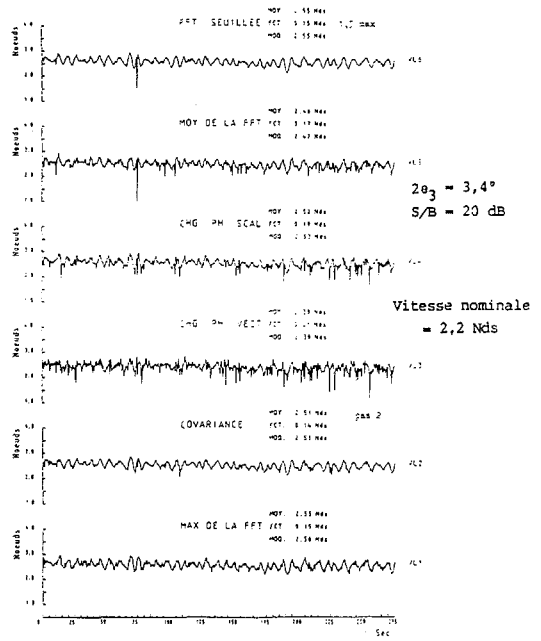


Fig. 15 : Diverses estimations de fréquence

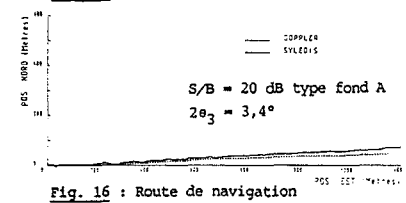


Fig. 16 : Route de navigation

