

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



895

NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

SYSTEME DE TRANSMISSION SOUS MARINE D'IMAGES DE TELEVISION PAR VOIE ULTRA SONORE (50 - 90 KHZ)

Y. ANGEL, H. VU THIEN, G. FROMONT

LABORATOIRE "SIGNAUX ET SYSTEME" DU C.N.A.M., 292, RUE SAINT MARTIN, 75141 PARIS CEDEX 03

RESUME

Un système expérimental de transmission numérique d'images de télévision par voie ultra sonore (50-90 kHz) a été réalisé par le laboratoire "Signaux & Systèmes" du CNAM (Paris) en collaboration avec le GESMA (Brest).

Des images de bonne qualité (300 points x 300 lignes, 16 niveaux de gris, une image tous les trois secondes) ont pu être transmises, dès Décembre 1979, dans des conditions expérimentales : rapport signal/échos \geq 15 dB, faible distance, transducteurs fixes.

Des modifications ont été apportées au système au cours de l'année 1980 pour le rendre plus robuste vis à vis de l'effet Doppler. Les essais récents ont montré que le système fonctionne de façon satisfaisante quand l'un des deux transducteurs est en mouvement simulant l'effet de la houle.

Après une présentation générale du système, on précise le choix des paramètres et la conception des organes suivantes de la chaîne de transmission : c o d e u r, modulateur (côté émission) ; démodulateur, décodeur (côté réception).

La dernière partie de l'article est consacrée aux résultats des essais qui démontrent la possibilité de la transmission sous marine des données à débits élevés par voie ultra sonore.

SUMMARY

An experimental system for digital transmission of TV pictures on an ultrasonic channel (50 - 90 kHz) is developed by the "Signaux et Systèmes" laboratory of CNAM (Paris) with the collaboration of GESMA (Brest).

Good quality pictures (300 points x 300 lines, 16 grey levels, one picture every 3 seconds) had been transmitted since December 1979 in the following experimental conditions : signal/echoes \geq 15 dB, short distance, fixed hydrophones.

During 1980, modifications had been carried on the system to make it more resistant towards Doppler effect. Recent tests demonstrated that it can work satisfactorily when one of the two hydrophones is submitted to an oscillatory movement simulating effect of the swell of the sea.

After a general description of the system, we present our choice of parameters and the conception of the following devices : coder, modulator (emission side); demodulator, decoder (reception side).

The last part of this paper is devoted to recent tests which demonstrate the possibility of high rate submarine data transmission on ultrasonic channels.



SYSTEME DE TRANSMISSION SOUS MARINE D'IMAGES DE TELEVISION PAR VOIE
ULTRA SONORE (50 - 90 kHz)

1. PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME.

1.1. Les études entreprises depuis le début de 1978, grâce à l'aide de la DRET et à la collaboration du GESMA pour les essais, ont permis à notre laboratoire de réaliser en Décembre 1979 la transmission sous-marine d'images de télévision par voie ultra sonore. Des images de bonne qualité ont pu être transmises avec des transducteurs fixes, placés à quelques mètres et avec un rapport signal / échos de l'ordre de 15 dB.

En 1980, des modifications ont été apportées à notre système pour le rendre plus robuste vis à vis de l'effet Doppler dû aux mouvements des transducteurs à savoir déplacement de l'un par rapport à l'autre et mouvements oscillatoires sous l'effet de la houle.

Nous présentons dans cet article la conception du système, les caractéristiques principales et les résultats des essais récents (Janvier 1981).

1.2. Les hypothèses de travail principales à la base de cette étude ont été:

- voie ultra sonore de 50 à 90 kHz ayant un rapport signal / (échos + bruit) de l'ordre de 10 dB.
- la cadence de renouvellement des images doit être suffisante pour couvrir tout le champ d'observation du dispositif de prise de vue lorsque celui-ci se déplace à une vitesse maximale de 3 m/s.
- la qualité de l'image doit permettre de voir des détails fins et sa restitution sur un récepteur de TV ne doit pas fatiguer l'observateur regardant l'image pendant une durée longue.

1.3. Le rôle principal de chaque élément de la chaîne de transmission représentée sur la figure 1 ont été défini comme suit :

CODEUR : La caméra fournit au codeur un signal vidéo classique (25 images complètes de 625 lignes par seconde). Celui-ci en extrait périodiquement une trame toutes les secondes environ pour effectuer un codage et une mémorisation rapides (en 20 ms). Les données mémorisées sont envoyées au modulateur avec un rythme lent.

MODULATEUR : Le modulateur transforme le train numérique sortant du codeur en une onde modulée dont la largeur de bande est strictement limitée à l'intervalle 50 - 90 kHz. La modulation utilisée devait permettre un débit numérique suffisamment élevé (de l'ordre de 60 kéb/s) pour assurer une cadence de renouvellement

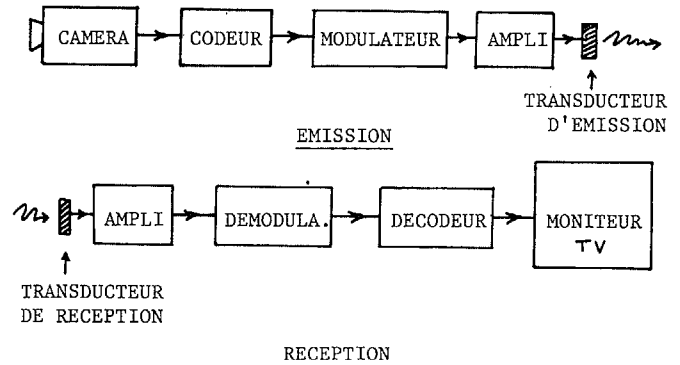


Fig. 1 : Chaîne de transmission

d'images compatible avec le champ d'observation de la caméra mobile. L'onde modulée et filtrée est fournie à l'amplificateur de puissance qui attaque l'hydrophone d'émission.

DEMULATEUR : Le démodulateur traite le signal électrique sortant du préamplificateur pour récupérer les rythmes de modulation. Il démodule ensuite l'onde reçue pour en extraire les informations d'images et de synchronisations. Celles-ci sont envoyées au codeur sous forme d'un train numérique identique (aux erreurs de transmission près) à celui fourni par le codeur au modulateur.

DECODEUR : Le décodeur enregistre, dans ses mémoires numériques les informations fournies par le démodulateur à cadence lente. Chaque image mémorisée est ensuite lue à cadence rapide en un nombre de fois suffisant pour permettre l'obtention d'un signal vidéo aux normes de télévision à 625 lignes.

2. ENSEMBLE CODEUR-DECODEUR (le CODEC)

2.1. Conception et caractéristiques globales.

La principale difficulté dans la conception du CODEC réside dans la détermination du meilleur compromis entre la qualité des images (définition, nombre de niveaux de gris) et la cadence de transmission. La qualité de l'image fixe la taille des mémoires numériques, le codage et la complexité du traitement. La cadence dépend principalement de la qualité de la voie ultra-sonore et de la vitesse de déplacement de la caméra.

Comme le système global, à caractère expérimental, comporte de nombreux paramètres inconnus concernant à la fois la voie ultra sonore et la qualité d'image

SYSTEME DE TRANSMISSION SOUS MARINE D'IMAGES DE TELEVISION PAR VOIE
ULTRA SONORE (50 - 90 kHz)

utilisable, nous avons décidé de construire un CODEC dont la cadence de transmission peut être modifiée de façon continue par une horloge extérieure.

D'autre part le CODEC a été conçu avec des signaux de synchronisations propres pouvant fonctionner de façon autonome. Ce choix qui n'est peut-être pas optimal pour le modulateur-démodulateur (car il impose le même rythme de synchronisations) présente l'avantage de rendre indépendants les divers couples d'éléments de la chaîne de transmission : codeur-décodeur, modulateur-démodulateur etc... Cette indépendance permet des essais à chaque étape d'avancement des études et une localisation facile des éléments défectueux quand tous sont rassemblés.

De cette conception, l'ensemble CODEC réalisé présente les caractéristiques principales suivantes:

- deux définitions possibles de l'image:
300 points x 286 lignes
ou 150 points x 143 lignes.
- 16 niveaux de gris.
- vitesse de transmission des informations

numériques variables (lecture des données en mémoire à l'émission et écriture en mémoire à la réception). Cette vitesse est commandée par une horloge fournie par le modulateur, côté émission, et celle fournie par le démodulateur, côté réception, dans une gamme très large de quelques kéb/s à 75 kéb/s.

- changement progressif des images à la réception par remplacement ligne par ligne d'une image à l'autre pour obtenir un "volet" dans le sens vertical.

- amélioration de la qualité de l'image reçue par interpolation des lignes manquantes (càd créer à partir de 150 ou 300 lignes, les 575 lignes visibles du standard 625 lignes).

2.2. Le CODEUR.

La figure 2 représente le synoptique général du codeur dont le fonctionnement est le suivant :

Une trame du signal de TV issue de la caméra est sélectionnée. Dans cette trame 286 lignes sont choisies. Pour chaque ligne, 300 points sont échantillonnés et numérisés avec 4 éb/point (16 niveaux de gris). Ces échantillons sont ensuite codés par MIC différentielle (MIC D) en 2 éb/point et mémorisés. Les informations mémorisées sont lues pour la transmission à la vitesse de 52,5 kéb/s (valeur fixée par le modulateur). Il faut trois secondes environ pour transmettre une image. Lorsque toutes les informations ont été lues dans la mémoire, une autre trame correspondant à une autre

prise de vue de la caméra y est enregistrée puis la lecture recommence.

La succession des éléments binaires lus constitue le train numérique transmis au modulateur. Etant donné qu'on ne peut pas lire et écrire en même temps dans une mémoire numérique, pour éviter l'interruption du train numérique pendant l'enregistrement d'une image, on adjoint à la mémoire principale une mémoire tampon de capacité suffisante pour maintenir le débit numérique constant.

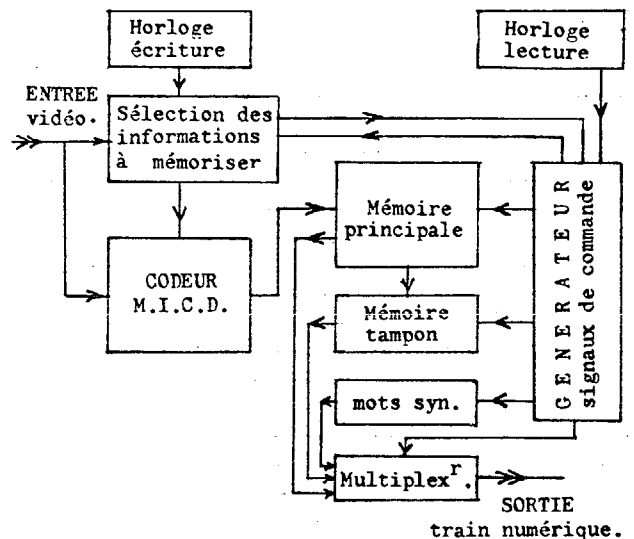


Fig.2 : Synoptique du codeur

L'élément particulièrement original du codeur est la loi de codage des sauts de luminance dans la MIC D utilisée : code conditionnel qui permet d'avoir cinq niveaux avec 2 éb (tableau 1).

Mot du code	Signification
0 0	saut 0
0 1	saut +1
1 0	saut -1
1 1	{ saut +3 si précédé par saut +1 ou +3 saut -3 si précédé par saut -1 ou -3

Tableau 1 : Loi de codage

Cette loi permet d'avoir une caractéristique symétrique codant le saut zéro qui est fréquent dans une image à cause des plages. De plus, elle n'augmente pratiquement pas le trainage dans les transitions verticales de l'image sous marine qui possède généralement peu de contraste.



SYSTEME DE TRANSMISSION SOUS MARINE D'IMAGES DE TELEVISION PAR VOIE
ULTRA SONORE (50 - 90 kHz)

2.3. Le DECODEUR.

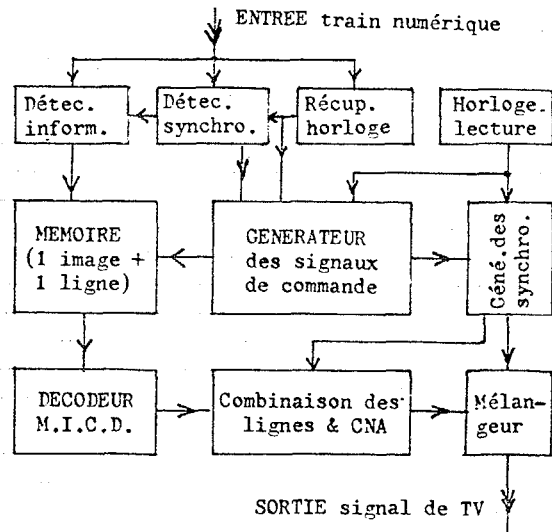


Fig. 3 : Synoptique du décodeur

Le synoptique général du décodeur est représenté sur la fig. 3. On a choisi le changement d'image par remplacement ligne par ligne dans la mémoire ce qui explique la taille de celle-ci (1 image + 1 ligne). Pour deux images transmises successivement, ce changement correspond à un recouvrement progressif de l'une par l'autre (fig. 4).

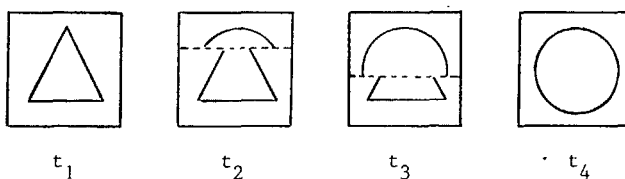


Fig. 4 : Recouvrement progressif d'une image par la suivante.

Le fonctionnement du décodeur est suivant : il sépare du train numérique reçu les informations d'image des informations de synchronisation. Les informations d'images sont enregistrées au rythme lent de transmission dans la mémoire pour être lues à un rythme beaucoup plus rapide permettant la reconstruction d'un signal de télévision.

La répétition des images et des lignes a été faite de deux manières différentes qu'on peut choisir par commutation au niveau du décodeur :

- répétition de lignes simples: les images et les lignes sont répétées identiques à elles-mêmes.

- répétition avec interpolation : une trame sur deux, la luminance des lignes de la trame obtenue par interpolation est la moyenne des luminances de deux lignes entre lesquelles elles s'intercalent. Ce procédé permet d'obtenir une amélioration de la qualité des images visualisées.

En un mot, la souplesse de fonctionnement et la qualité des images restituées sont deux points "forts" de l'ensemble CODEC. Depuis deux ans qu'il fonctionne sans aucune panne, il a permis la mise au point de l'ensemble modulateur - démodulateur qui constitue la partie la plus difficile du projet en particulier lorsqu'on demande au démodulateur d'accepter une onde modulée très perturbée par l'effet Doppler et les distorsions de la voie ultra sonore.

3. ENSEMBLE MODULATEUR-DEMULATEUR (le MODEM)

3.1. Conception du MODEM.

L'exigence d'un débit binaire élevé (de l'ordre 60 kéb par seconde) par rapport à la qualité très médiocre de la voie ultra sonore (± 20 kHz de largeur de bande, rapport signal / échos de l'ordre de 10 dB) constitue la difficulté fondamentale dans la conception du MODEM.

Pour résoudre ce problème, une étude théorique comparative de divers procédés de modulation numérique classiques (Mda, MdF, MdO) a été effectuée. Il en est résulté que la modulation de phase cohérente à huit états paraît répondre le mieux aux contraintes imposées du point de vue de largeur de bande et du taux d'erreur acceptable ($\approx 10^{-4}$). Elle a par conséquent été adoptée.

3.2. Le MODULATEUR

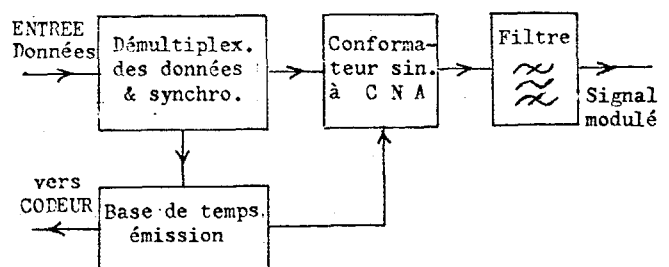


Fig. 5 : Synoptique du modulateur

SYSTEME DE TRANSMISSION SOUS MARINE D'IMAGES DE TELEVISION PAR VOIE
ULTRA SONORE (50 - 90 kHz)

La réalisation du modulateur ne présente pas de difficulté particulière. Nous avons profité du fait que la fréquence porteuse (70 kHz) est relativement faible pour produire l'onde modulée en phase de façon numérique à l'aide d'un conformateur sinusoïdal à CNA. Les huit états de phases différents d'une période de la porteuse sont enregistrés sous forme numérique dans la mémoire morte du conformateur. La lecture de cette mémoire en fonction des éléments binaires du train numérique groupés en groupe de 3 éb ($2^3 = 8$) donne le signal modulé sous forme échantillonné et numérisé. Un Convertisseur Numérique-Analogique associé à un filtre passe-bas de lissage transforme ces échantillons numérisés en une onde analogique modulée en phase.

3.3. Le DEMODULATEUR

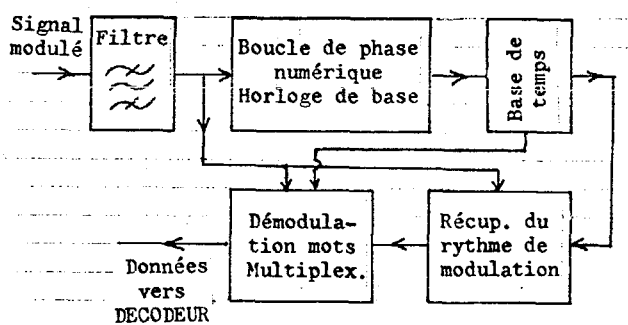


Fig. 6 : Synoptique du démodulateur

La démodulation choisie étant cohérente, l'obstacle le plus difficile à franchir au niveau du démodulateur se trouve dans la récupération des horloges synchrones aux celles de l'émission (l'horloge d'échantillonnage de 560 kHz et le rythme de modulation de 17,5 kHz).

Ce problème particulièrement difficile dans notre cas vient du fait que le rythme de modulation est comparable à la fréquence porteuse. Il en résulte que chaque moment élémentaire ne contient que 4 sinusoïdes de porteuse. Le filtrage de l'onde modulée (à l'émission, par la voie ultra sonore, à la réception) crée un brouillage intersymbole, introduisant une forte modulation d'amplitude parasite et des erreurs de phase (fig.7). Ces erreurs font que dans chaque moment élémentaire il n'y a qu'une ou deux transitions réellement significatives.

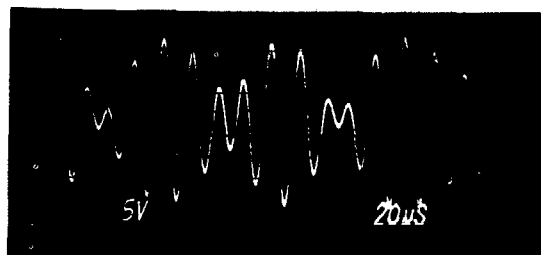


Fig. 7 : Signal modulé après filtrage.

La méthode de récupération d'horloge classique qui consiste à élever successivement à la puissance huit l'onde modulée (à 8 états de phase) pour obtenir l'harmonique 8 de la porteuse sans sauts de phase a été essayée au début mais elle n'a pas pu fonctionner dans les conditions de filtrage réel.

Pour surmonter cette difficulté nous avons essayé plusieurs systèmes de synchronisation à la réception:

a) Synchronisation par salves de référence introduites dans l'onde modulée : cette solution n'a pas pu résister à l'effet Doppler que subit l'onde modulée à cause des mouvements des transducteurs.

b) Boucle de phase semi-numérique à l'OCT : le fonctionnement de cette boucle est instable à cause des erreurs de phase du signal modulé. De plus pour qu'une telle boucle fonctionne, son temps de réponse doit être long. Ceci est incompatible avec la poursuite des variations rapides de fréquence dues par exemple au roulis.

c) Boucle de phase numérique sans OCT (x). Ce circuit est original car il permet de faire un calage de phase uniquement sur les bonnes transitions de l'onde modulée en raison d'une fois par moment élémentaire. De plus, tous ses éléments constitutifs utilisent des circuits numériques dont le fonctionnement peut être contrôlé et optimisé. Ce n'est pas le cas des boucles de phase classiques à l'OCT où l'on connaît mal, en général, la réponse de l'oscillateur à des variations rapides de la tension de commande. Notre boucle numérique a pu fonctionner correctement (càd permettre la démodulation) quand un Doppler variable entraîne, en une seconde, une dérive de fréquence porteuse $\Delta f/f$ de 1%.

(x) Cette boucle de phase et le procédé de synchronisation associé font l'objet d'un article que nous publierons ultérieurement.



SYSTEME DE TRANSMISSION SOUS MARINE D'IMAGES DE TELEVISION PAR VOIE
ULTRA SONORE (50 - 90 kHz)

3.4. Filtrés d'émission et de réception

La limitation stricte de la bande de fréquences dans la gamme (50 - 90 kHz) a été effectuée à l'aide de filtres transversaux à phase linéaire. Ces filtres sont réalisés avec des registres à décalage analogiques à 32 sorties parallèles. Les coefficients du filtre sont calculés à l'aide d'ordinateur. Les figures 8 et 9 représentent les réponses amplitude-fréquence et phase-fréquence du filtre transversal utilisé comparées à celles d'un filtre Tchebychev du 5^e ordre que nous avons réalisé auparavant.

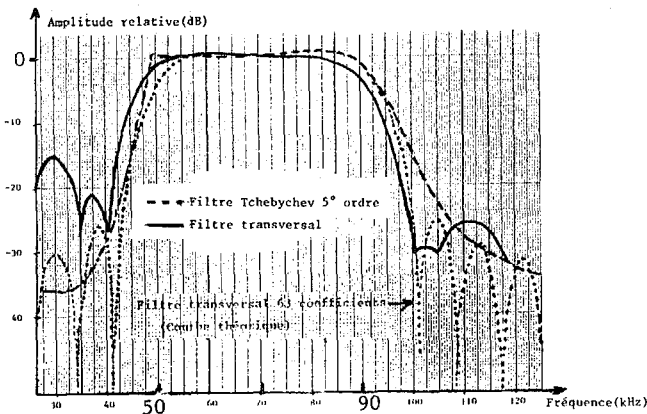


Fig. 8 : Réponse amplitude-fréquence des filtres.

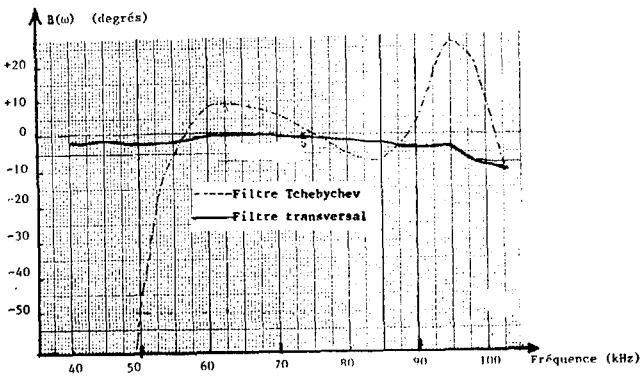


Fig. 9 : Distorsion de phase-fréquence

4. RESULTATS DES ESSAIS ET MESURES RECENTS.

Les derniers essais de transmission avec notre système ont été effectués les 28 et 29 Janvier 1981 dans une piscine de dimensions 10 x 5 x 4 mètres. Deux couples de transducteurs ont été utilisés et la distance, limitée par la longueur de la piscine était variable de 1 à 8 mètres.

Deux transducteurs d'émission ont été essayés. Le premier émet de façon omnidirectionnelle en gisement (plan perpendiculaire à son axe longitudinal) et l'angle de site dans la direction de réception est de l'ordre de 15°. Le second émet à peu près uniformément dans un demi-espace.

Les deux hydrophones de réception sont tous les deux directifs. L'un possède un réflecteur parabolique construit par le GESMA qui lui confère une directivité de $\pm 3^\circ$ (à 3 dB et à la fréquence porteuse). L'autre se trouve au foyer d'une petite parabole type projecteur de voiture réalisé par notre laboratoire pour la mise au point du système dans un bassin de très petites dimensions. Sa directivité est de l'ordre de $\pm 8^\circ$.

Les courbes de réponse amplitude-fréquence et distorsion de phase-fréquence mesurées des couples de transducteurs sont représentées sur les figures 10 et 11. On constate qu'il est indispensable de prévoir des correcteurs de phase et d'amplitude adaptés. Il faut cependant noter que pendant les essais du mois de Janvier 1981 aucun correcteur n'avait été introduit dans la chaîne de transmission.

Deux séries d'essais ont été réalisés. La première avec les transducteurs fixes, la seconde avec le transducteur d'émission monté sur un plateforme en mouvement oscillatoire dont la vitesse de déplacement et la fréquence sont réglables.

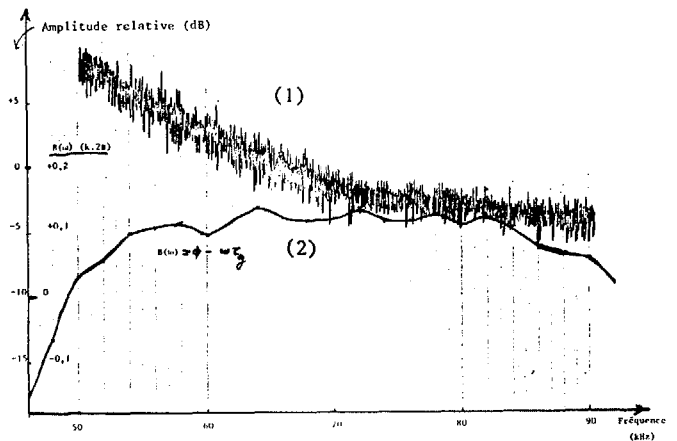


Fig. 10 : (1) Réponse amplitude-fréquence
(2) Distorsion de phase-fréquence
(Couple de transducteurs N°1)

SYSTEME DE TRANSMISSION SOUS MARINE D'IMAGES DE TELEVISION PAR VOIE
ULTRA SONORE (50 - 90 kHz)

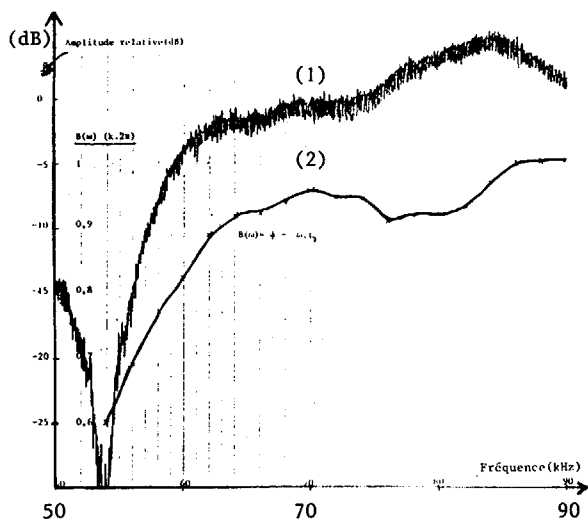


Fig. 11 : (1) Réponse amplitude-fréquence
(2) Distorsion de phase-fréquence
(Couple de transducteurs N°2)

Dans le cas des transducteurs fixes, on a constaté que le système fonctionne quand le rapport signal / échos est supérieur ou égal à 12 dB, quelque soit la distance (de 1 à 8 m). Dans le cas où l'un des transducteurs est en mouvement oscillatoire, des erreurs commencent à apparaître sur l'image (taux d'erreur de l'ordre de 10^{-4}) quand l'amplitude des variations de la vitesse est de 0,5 mètre / seconde. Ceci correspond à une variation relative $\Delta f / f$ de $\pm 0,3 \%$ par seconde, le rapport signal/échos étant maintenu ≥ 15 dB.

5. CONCLUSION

Les réalisations du Laboratoire ont démontré dès Décembre 1979 la possibilité de la transmission sous-marine d'images de télévision de bonne qualité et à cadence de renouvellement relativement rapide (1 à 3 secondes).

Depuis lors nos efforts ont porté principalement sur la restitution du rythme en présence de mouvements des transducteurs. Le problème a pu être résolu grâce à la mise au point d'un procédé original entièrement numérique donc fiable.

Dans l'état actuel du système, le fonctionnement est assuré sans correction des caractéristiques de transmission de la voie ultra sonore. En vue de l'augmentation de la distance de transmission (quelques centaines de mètres jusqu'à 1 km maximum) des efforts seront nécessaires pour déterminer les corrections optimales à apporter à celle-ci. Cette étude déjà amorcée par le Laboratoire fera l'objet d'un compte rendu ultérieur.

