

RAPPORT 743-1

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE TRANSMISSION DES VOIES NUMÉRIQUES DANS LE SERVICE MOBILE MARITIME

(Question 42/8)

(1978-1982)

1. Introduction

On a besoin actuellement d'une qualité de transmission minimale dans les voies numériques à ondes courtes du service mobile maritime, ce qui pose toute une série de problèmes complexes. Pour satisfaire aux exigences toujours croissantes qui sont imposées aux systèmes de radiocommunications maritimes, il faut automatiser la préparation, la transmission et l'enregistrement des messages; il faut automatiser également l'établissement des communications, ainsi que la détection et la correction des erreurs.

A cet égard, le CCIR a déjà effectué certaines études:

- il a recommandé un système à impression directe avec détection et correction des erreurs, qui a déjà été utilisé pendant plusieurs années par un certain nombre de pays;
- des succès sont enregistrés dans la mise au point d'un système d'appel sélectif numérique approprié aux conditions futures d'exploitation du service mobile maritime.

Les études futures, à effectuer dans le cadre du CCIR, prévoient la mise au point de moyens pour automatiser les radiocommunications, avec utilisation de voies numériques pour la transmission de l'information. Pour perfectionner les appareils et les méthodes de transmission de l'information dans ces voies, il faut absolument faire une évaluation objective de l'efficacité des solutions techniques appliquées. Pour faire cette évaluation, il est commode de considérer la variation de la probabilité de transmission, dans les voies considérées, d'une certaine quantité d'information, avec une certaine fiabilité admissible dans des intervalles de temps donnés. Les diverses méthodes permettant de perfectionner les moyens de transmission de l'information numérique dépendent étroitement des variations des conditions de transmission dans les voies utilisées; cela étant, on est conduit à déterminer la nature et l'intervalle des variations des facteurs de qualité des voies, et à mettre au point des méthodes permettant de réaliser, dans le cadre des travaux du CCIR, une comparaison des résultats fournis par les essais d'appareils mis en œuvre par les administrations des divers pays.

Les voies numériques destinées aux services télégraphiques à impression directe entre les stations de navires et les stations côtières ont des débits de transmission lents, mais dans les zones encombrées, on aura besoin d'un grand nombre de voies pour écouler le trafic des services par satellite et des services de Terre en ondes décamétriques et en ondes métriques. Il est possible qu'à l'avenir il soit nécessaire d'assurer une transmission de données à débit plus rapide, du type ordinateur; dans certaines conditions, la transmission numérique de la parole et du fac-similé pourrait constituer un avantage, mais ces deux types de transmission doivent être étudiés indépendamment de la télégraphie à impression directe.

Les tests de performance de l'équipement numérique peuvent avoir deux buts: premièrement évaluer la qualité de fonctionnement de l'équipement complet de transmission de messages, deuxièmement déterminer la distribution des erreurs causées par le trajet de propagation en vue d'améliorer la conception de l'équipement, en modifiant les méthodes de modulation, de codage ou de diversité.

Pour évaluer la qualité de transmission des voies dans le service mobile maritime, il est très important de tenir compte de l'influence des paramètres suivants sur les résultats de l'étude: durée de la vacation, grandeur de l'intervalle choisi pour l'établissement de la moyenne du paramètre mesuré au cours de la séance, et nombre total de vacations, c'est-à-dire volume et algorithme de traitement des essais statistiques.

2. Méthodes d'évaluation de la qualité de fonctionnement

2.1 Des essais en laboratoire effectués par la France et portant sur des signaux radioélectriques codés ont abouti à la mise au point d'une méthode qui permet de produire un bruit blanc de niveau élevé en modulant en fréquence une porteuse affectée de bruit. Ces travaux sont décrits en relation avec les Rapports 499 et 501, et ils sont applicables aux essais des équipements en présence de bruit blanc. Ces essais représentent le minimum à effectuer en laboratoire et ne permettent donc pas d'obtenir des renseignements complets pour les essais à ondes décamétriques dans lesquels le bruit est présent sous forme de salves.

2.2 En dernier ressort, l'évaluation de l'efficacité de l'équipement doit être fondée sur des mesures de sa performance en exploitation, de telle sorte que tous les facteurs pertinents soient pris en considération. Ces tests doivent être faits pour la gamme complète des distances sur lesquelles on se propose d'utiliser l'équipement, et dans tous les types de conditions de propagation. Les mesures de qualité de fonctionnement dépendront tout particulièrement de l'affaiblissement de propagation, du bruit et des conditions de brouillage existant au moment de l'essai; étant donné que ces conditions sont variables, on ne peut comparer la qualité de fonctionnement des divers équipements qu'en établissant la moyenne de résultats des essais effectués sur plusieurs mois. Outre les facteurs de propagation indiqués ci-dessus, des modifications des temps de propagation par trajets multiples peuvent se traduire par une distorsion télégraphique et par des paquets d'erreurs numériques même si les autres conditions sont favorables à l'établissement d'une communication fiable.

2.3 La difficulté qu'on a éprouvée à faire des mesures de performance répétées des équipements en procédant à des essais en mer, et la longueur du temps qu'il faut pour ces essais, nous a conduits à utiliser des simulateurs du trajet ionosphérique qui permettent de tester les équipements en laboratoire dans des conditions déterminées. Par rapport aux essais effectués sur un trajet ionosphérique réel, l'intérêt de la méthode expérimentale avec un simulateur de voie est qu'elle permet de comparer des équipements qui fonctionnent dans des conditions exactement semblables et de reproduire des conditions données sans attendre qu'elles se présentent fortuitement.

3. Travaux de la Commission d'études 3

L'évaluation de la qualité de fonctionnement des circuits télégraphiques sur ondes décamétriques du service fixe a été étudiée par la Commission d'études 3 du CCIR. Les Rapports 203, 345 et 435 traitent de cette question, mais en mettant essentiellement l'accent sur la performance relative des méthodes de modulation et de codage télégraphique. Les Rapports suivants concernent plus particulièrement la mesure de la qualité de fonctionnement.

Rapport 200. — Distorsion télégraphique, taux d'erreur. Ces questions se rapportent spécialement aux Recommandations pertinentes du CCITT sur la mesure de la distorsion.



Rapport 349. — Systèmes radiotélégraphiques à une seule voie avec dispositif de correction d'erreur ne nécessitant pas une voie de retour. Ce Rapport décrit des méthodes d'essais et des résultats obtenus pour plusieurs systèmes concurrents.

Rapport 345. — Caractéristiques de fonctionnement de systèmes télégraphiques sur circuits radioélectriques à ondes décimétriques. Ce Rapport qui récapitule les essais les plus récents, indique qu'une mesure de la distorsion télégraphique constitue un moyen plus utile pour évaluer la qualité de transmission que la mesure de l'efficacité des voies.

Rapport 549. — Simulateurs de voies ionosphériques sur ondes décimétriques. Ce Rapport décrit le modèle qui représente le trajet de transmission et la méthode de simulation avec lignes à retard, affaiblisseurs et intégrateurs.

4. Mesures effectuées à l'aide de simulateurs de trajet

4.1 De nombreux simulateurs de trajet ont fait l'objet d'essais expérimentaux et l'un d'entre eux au moins est disponible sur le marché, mais rares sont les administrations qui ont accès à cet équipement. Les simulateurs diffèrent selon la précision avec laquelle ils simulent le mécanisme de propagation.

4.2 Lorsqu'on utilise un simulateur de trajet, il faut tenir compte de ses possibilités en ce qui concerne la représentation des conditions de réception réelles. Le modèle doit reproduire avec précision les conditions d'évanouissement dans le spectre occupé par le signal et produire par conséquent la même distorsion du signal que la propagation par trajets multiples. De plus, le simulateur de trajet doit avoir une gamme dynamique suffisamment étendue pour lui permettre de représenter de façon réaliste les grandes variations du niveau du signal que l'on rencontre dans la pratique, et il doit être capable de simuler avec précision diverses caractéristiques de bruit (par exemple, bruit atmosphérique et bruit artificiel) pour une large gamme de rapports signal/bruit. On ne dispose pas d'un nombre suffisant d'informations permettant de déterminer avec précision les paramètres à utiliser dans la simulation des trajets de propagation spécifique. Néanmoins, on a constaté que les essais qui portent sur une gamme de paramètres de propagation représentatifs et qui ont été effectués par plusieurs administrations à l'aide d'un simulateur approprié (par exemple, comme celui décrit dans le Rapport 549) permettent d'obtenir des indications fiables sur la manière dont l'équipement doit fonctionner dans des conditions pratiques, et montrent que même un simple modèle du mécanisme de propagation par trajets multiples devrait suffire pour comparer la qualité de fonctionnement des divers équipements, à condition que les paramètres de trajet choisis soient suffisamment représentatifs des trajets ionosphériques réels.

4.3 La Recommandation 520 propose, pour les paramètres du signal, une gamme de valeurs qui conviendrait aux communications en ondes décimétriques. Elle note que le simulateur peut reproduire non seulement les propriétés du trajet radioélectrique, mais aussi celles des différentes parties de l'équipement radioélectrique telles que commande automatique du gain, dérive de fréquence, sauts de fréquence et de phase qui sont parfois provoqués par les synthétiseurs de fréquence. Ces paramètres supplémentaires sont nécessaires pour tester les modems indépendamment de l'équipement de réception. Le Rapport 549 souligne aussi qu'il faut recueillir des renseignements complémentaires sur les valeurs des paramètres et il note en particulier qu'aucune valeur spécifique n'est proposée pour l'intensité du signal et le niveau de bruit à utiliser dans les essais d'équipement.

4.4 On peut conclure qu'actuellement le simulateur de voies constitue le moyen le plus satisfaisant pour comparer divers équipements de télécommunications; en revanche, pour déterminer si la qualité de fonctionnement répond aux demandes du service, il faut tester l'équipement dans des conditions d'exploitation que l'on rencontre réellement à bord des navires, dans les stations côtières et compte tenu du milieu de propagation.

5. Essais en mer

On peut représenter statistiquement la qualité de fonctionnement des voies numériques en indiquant leur taux d'erreur ainsi que le modèle suivant lequel ces erreurs se produisent. On doit notamment indiquer les probabilités d'erreur et les différents types de modèles d'erreur (par exemple, des modèles aléatoires, par paquets, systématiques) en fonction de l'heure, du mois (ou de la saison) et du cycle d'activité solaire, en même temps que la longueur du trajet et l'emplacement géographique.

Un programme de mesures de grande envergure est actuellement appliqué en URSS en vue d'obtenir des données de base permettant l'établissement de modèles mathématiques pour l'évaluation de la qualité de fonctionnement des équipements de transmission numérique dans des conditions pratiques d'exploitation. Ces travaux doivent être poursuivis si l'on veut recueillir un nombre suffisant de données permettant de représenter une grande variété de voies de communication réelles.

5.1 Depuis 1967, l'URSS étudie expérimentalement les caractéristiques de qualité des voies en question, avec utilisation d'appareils à impression directe avec et sans correction d'erreur. En outre, on a étudié les modalités de groupage des erreurs dans ces voies, en exploitation synchrone et notamment afin d'évaluer la grandeur de l'échantillon nécessaire pour tirer des conclusions sur la qualité de transmission des voies.

On trouvera ci-après les particularités les plus importantes des études effectuées, ainsi que quelques résultats.

5.2 *Objet des études*

Une des caractéristiques spécifiques de l'exploitation des services mobiles maritimes est la suivante: on a besoin, pendant de courtes périodes, d'échanger de l'information entre des navires et des stations côtières; il faut pour cela établir des communications discontinues, avec application préalable des procédures d'établissement nécessaires. En raison des facteurs suivants: nombre relativement élevé des fréquences utilisées pour ces communications, déplacement incessant du navire en cours de croisière, transmission des appels à des moments divers d'une journée ou d'une saison, il faut prévoir que les communications présenteront une grande variété en ce qui concerne les fréquences et les caractéristiques spatiales et temporelles. Avant chaque «vacation», on choisit la voie «de travail». Or, la qualité de transmission de l'information durant les diverses communications varie considérablement d'une vacation à une autre; ces variations dépendent dans une grande mesure des conditions de propagation, des fréquences de travail et aussi du degré de perturbation de ces fréquences par les brouillages. Les variations de vacations en emplacement, distance, temps et fréquence sont l'un des aspects fondamentaux de l'exploitation du service mobile maritime; il faut en tenir compte lorsqu'on détermine les caractéristiques de qualité des voies numériques à ondes décimétriques de ce service.

L'objet principal de notre étude était de déterminer la loi de variation de la qualité de transmission dans les voies en question, d'une vacation à une autre. L'étude a porté sur diverses catégories de voies qui présentent de grandes différences en ce qui concerne l'emplacement, la distance, le temps et la fréquence.

Dans la deuxième partie de l'étude, nous avons cherché à obtenir des données statistiques sur le groupement des erreurs dans les voies numériques à ondes décimétriques du service maritime, en exploitation synchrone, pour plusieurs rapidités de modulation.

Enfin, nous avons voulu expliquer la corrélation entre l'échantillon d'essai et la validité des résultats des essais obtenus dans la bande des ondes décimétriques.

5.3 *Paramètres étudiés*

Au cours des dernières années, on a largement utilisé, pour évaluer la qualité de transmission de voies numériques, une méthode consistant à transmettre un signal d'essai de structure donnée, en déterminant à la sortie de la voie la distribution en fonction du temps (sur les bits ou sur les caractères alphabétiques) ou certaines de ses caractéristiques numériques. La qualité de transmission des voies numériques à ondes décimétriques du service maritime peut être caractérisée d'une façon assez complète par la probabilité de transmission, vers le correspondant, d'une certaine quantité d'information dans des intervalles de temps donnés, avec une fiabilité admissible; cela étant, on a cherché à obtenir, à la sortie de voies, une distribution en fonction du temps qui permette de déterminer toutes les caractéristiques nécessaires. Pour étudier les voies fonctionnant avec impression directe sans protection contre les erreurs (voir les Fig. 3, 4, 6, 7, 8 et 9), on transmettait un signal d'essai pendant des intervalles de temps fixes, à vitesse constante; dans ces conditions, il est commode de caractériser la qualité de transmission des voies par la distribution des taux d'erreur sur les caractères, déterminés pendant les diverses périodes de travail.

Les remarques précédentes s'appliquent également à la transmission synchrone de signaux d'essai (voir les Fig. 1, 2 et 5) qui, eux aussi, étaient transmis pendant des intervalles de temps fixes, sans voie de retour à vitesse connue. Les taux d'erreur sur les bits, déterminés pendant les vacations, caractérisent également la qualité de transmission des voies numériques du service maritime. En plus des taux d'erreur, les séquences d'erreurs sur les bits en fonction du temps permettent de déterminer les taux de groupement des erreurs dans des blocs de diverses longueurs, la répartition des longueurs des paquets d'erreurs adjacents et toute une série d'autres caractéristiques de probabilité, qui sont nécessaires pour choisir les méthodes propres à améliorer la fiabilité des transmissions numériques.

5.4 *Conditions expérimentales*

Pour évaluer la qualité de transmission de l'information dans les voies considérées, avec impression directe, on a utilisé un appareil type de radiocommunications avec des émissions de la classe F1B.

Pour mettre au point le programme et les méthodes de l'étude, on a tenu le plus grand compte des caractéristiques de fonctionnement des systèmes réels; en effet, la précision des résultats obtenus dépend essentiellement de ce facteur.

Une soixantaine de navires long-courriers, naviguant dans plusieurs zones océaniques, ont participé à ces essais. Les communications avec ces navires étaient établies par l'intermédiaire de cinq stations côtières qui utilisaient plus de 70 fréquences lors des essais.

Le «texte» d'essai utilisé était une séquence de toutes les lettres de l'alphabet russe, disposées de telle manière que la structure de la séquence était quasi récurrente. Dans l'exécution du programme d'essai, il y a eu plus de 900 vacations, au cours desquelles on a transmis près de 4 millions de signes. Ces communications étaient établies à diverses heures de la journée. Les résultats des essais ne sont indiqués que pour les transmissions dans le sens station côtière-navire, compte tenu de l'échantillon limité obtenu pour les communications dans le sens opposé.

Les conditions de transmission variaient considérablement en fonction du temps, dans les voies étudiées, la conséquence étant que le taux d'erreur dépendait forcément de la durée de la vacation. Pour cette raison, on a choisi cette durée en tenant compte de la durée moyenne d'une vacation réelle, qui est de 10 min.

Le signal d'essai reçu était enregistré sur une bande perforée. En comparant le texte reçu et le texte émis, on pouvait déterminer la séquence d'erreurs sur les caractères ainsi que ses diverses caractéristiques numériques.

Pour étudier le régime d'exploitation synchrone, on a eu recours à un appareil spécial pour la détermination et l'enregistrement de la distribution en fonction du temps. On enregistrerait également la séquence d'erreurs sur une bande perforée, en spécifiant, par un code binaire, le nombre d'éléments du signal d'essai affectés par une erreur. Cette représentation de la séquence d'erreurs est extrêmement commode pour le traitement des résultats sur ordinateur. Pour obtenir une synchronisation stable des signaux d'essai émis et reçus, on choisissait une séquence régulière de signaux binaires du type 1 : 1. L'étude expérimentale des signaux à ondes décimétriques dans ce mode d'exploitation a été effectuée avec deux navires, le «Novoaltaïsk» qui assurait une liaison Leningrad-Australie-Leningrad et le «Chota Roustaveli» sur le parcours Odessa-Angleterre-iles du Pacifique-Australie-Indonésie. La transmission du signal d'essai était effectuée dans le sens station côtière-navire; on avait recours pour cela à quatre stations côtières qui utilisaient 30 fréquences prises dans toutes les sous-bandes d'ondes décimétriques servant aux communications à grande distance.

La quantité d'information transmise pendant les 700 vacations a dépassé 20×10^6 bits.

Des essais ont été effectués en URSS afin d'obtenir des informations sur la variation des caractéristiques des voies numériques selon la durée de la période expérimentale. Ces essais ont été menés pendant une période de 6 mois sur des navires du type «Pouchkine» et «Magnitogorsk» équipés d'appareils à impression directe conformément à la Recommandation 476. Au cours des essais, on a enregistré un nombre total de 572 615 blocs transmis et 286 transmissions d'essai.

5.5 Analyse des résultats

La valeur moyenne échantillonnée du taux d'erreur sur les caractères, $\bar{\tau}_c$, pour toutes les communications d'essai établies, était de $3,9 \times 10^{-2}$. Cette valeur était calculée par la formule:

$$\bar{\tau}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{ci} \quad (1)$$

où n = nombre total de vacations, τ_{ci} = taux d'erreur sur les caractères, pour la i -ème vacation.

Pour la valeur moyenne échantillonnée du taux d'erreur sur les bits, on a obtenu $\bar{\tau}_b = 9,2 \times 10^{-3}$. Pour déterminer la loi de variation statistique des taux d'erreur et pour évaluer l'influence, sur cette variation, des caractéristiques fréquentielles, spatiales et temporelles de vacations, on a procédé comme suit: on rangeait tous les résultats obtenus dans des séries statistiques (échantillons), en se fondant sur l'invariance de telle ou telle caractéristique des vacations. Etant donné la grande dispersion des valeurs obtenues pour les taux d'erreur sur les caractères τ_c et sur les bits τ_b ($\tau_{max} = 5 \times 10^{-1}$; $\tau_{min} = 2,3 \times 10^{-5}$), on a utilisé les logarithmes des taux d'erreur pour tracer les histogrammes de ces séries statistiques et pour calculer les courbes de répartition représentant des approximations de ces histogrammes (pour désigner les logarithmes de τ_c et τ_b , nous utilisons dans la suite de ce document les symboles m' et m'' respectivement). Si on néglige quelques différences dans certaines données statistiques, tous les échantillons représentés par des intervalles dans les séries de variation sont statistiquement stables et peuvent être exprimés avec une bonne approximation par les courbes de Gram-Charlier [Mitrópolsky, 1971; Korn et Korn, 1970]. A titre d'illustration de cette conclusion, en trouvera plus loin des histogrammes et des courbes calculées pour dix séries de variation (Fig. 1 à 9), formées d'après les résultats obtenus et portant sur un grand intervalle de caractéristiques spécifiques. Le Tableau I donne les caractéristiques des séries traduisant les conditions expérimentales, ainsi que les nombres d'échantillons et les valeurs moyennes des taux d'erreur pour chaque série. Les Fig. 1 et 2 contiennent, à titre de comparaison, des histogrammes et des courbes calculées, établis d'après les données de réception, à bord du «Novoaltaïsk», du signal d'essai synchrone provenant de deux stations côtières différentes: Moscou (Fig. 1) et Odessa (Fig. 2). Dans toutes les figures, on a porté en ordonnées les valeurs de la fréquence relative correspondant aux taux d'erreur dans la i -ème classe de l'intervalle i :

$$h_i = \frac{n_i}{n} \quad (2)$$

où n_i = nombre de vacations pour lesquelles le taux d'erreur est τ_{ci} ou τ_{bi} , et n = nombre total des échantillons prélevés pendant les vacations. En abscisses, on a porté les valeurs moyennes des intervalles, τ_{ci} ou τ_{bi} ; à noter cependant que les courbes ont été tracées pour les logarithmes de ces grandeurs (m' et m'').

Les courbes tracées montrent les résultats obtenus pour une gamme de taux d'erreur sur les bits et sur les caractères compris entre 2×10^{-5} environ et 5×10^{-1} environ, mais il est suggéré que les essais futurs portent sur une gamme de qualité de fonctionnement pratique; il convient d'utiliser une gamme comprise entre 10^{-1} et 10^{-4} .

Les Fig. 1 et 2 montrent à l'évidence qu'il existe une nette différence de qualité entre les communications établies respectivement par les stations d'Odessa et de Moscou. Les Fig. 3 et 4 donnent des histogrammes et des courbes de distribution de $\log \tau$, pour le centre de Moscou; ces courbes se rapportent au mode d'exploitation avec impression directe, dans le cas d'un navire croisant dans l'océan Atlantique (Fig. 3) et dans l'océan Indien (Fig. 4) («Novoaltaïsk», Leningrad-Australie-Leningrad). On voit ici encore qu'il existe une différence entre les qualités des communications, mais la loi statistique de variation est la même.

TABLEAU I

N°	Taille des échantillons pendant les vacances	Taux d'erreur moyen (sur les bits ou les caractères)	Nombre de fréquences utilisées	Stations côtières participant à l'expérience	Navires participant à l'expérience	Zones traversées par les navires	N° de la figure illustrant la répartition empirique et la répartition calculée des échantillons	Remarques
1	54	$9,5 \cdot 10^{-3}$ (bits)	7	Moscou	«Novoaltaïsk»	Océan Indien	Fig. 1	Pour les échantillons indiqués, l'importance mathématique du critère de concordance entre les courbes empiriques et les courbes calculées ne dépassait pas 0,05
2	110	$7,4 \cdot 10^{-3}$ (bits)	5	Odessa	«Novoaltaïsk»	Océan Indien	Fig. 2	
3	71	$2,9 \cdot 10^{-2}$ (caractères)	8	Moscou	«Novoaltaïsk»	Océan Atlantique	Fig. 3	
4	62	$4,5 \cdot 10^{-2}$ (caractères)	10	Moscou	«Novoaltaïsk»	Océan Indien	Fig. 4	
5	263	$9,2 \cdot 10^{-3}$ (bits)	12	Moscou, Odessa	«Novoaltaïsk»	Océans Atlantique et Indien	Fig. 5	
6	572	$3,9 \cdot 10^{-2}$ (caractères)	23	Moscou, Odessa, Vladivostok, Leningrad	Plusieurs navires	Océans Atlantique, Indien et Pacifique	Fig. 6	
7	373	$3,8 \cdot 10^{-2}$ (caractères)	14	Moscou, Odessa	«Novoaltaïsk»	Océans Atlantique et Indien	Fig. 7	
8	199	$4,0 \cdot 10^{-2}$ (caractères)	19	Arkhangelsk, Mourmansk, Leningrad, Moscou, Odessa	Plusieurs navires	Océan Atlantique, Méditerranée et Mer Noire	Fig. 8	
9	104	$2,2 \cdot 10^{-2}$ (caractères)	7	Vladivostok	«Chota Roustaveli»	Océan Pacifique	Fig. 9 Courbe 1	sans régénérateur de signal
10	109	$8,1 \cdot 10^{-3}$ (caractères)	7	Vladivostok	«Chota Roustaveli»	Océan Pacifique	Fig. 9 Courbe 2	avec régénérateur de signal

R 743-1

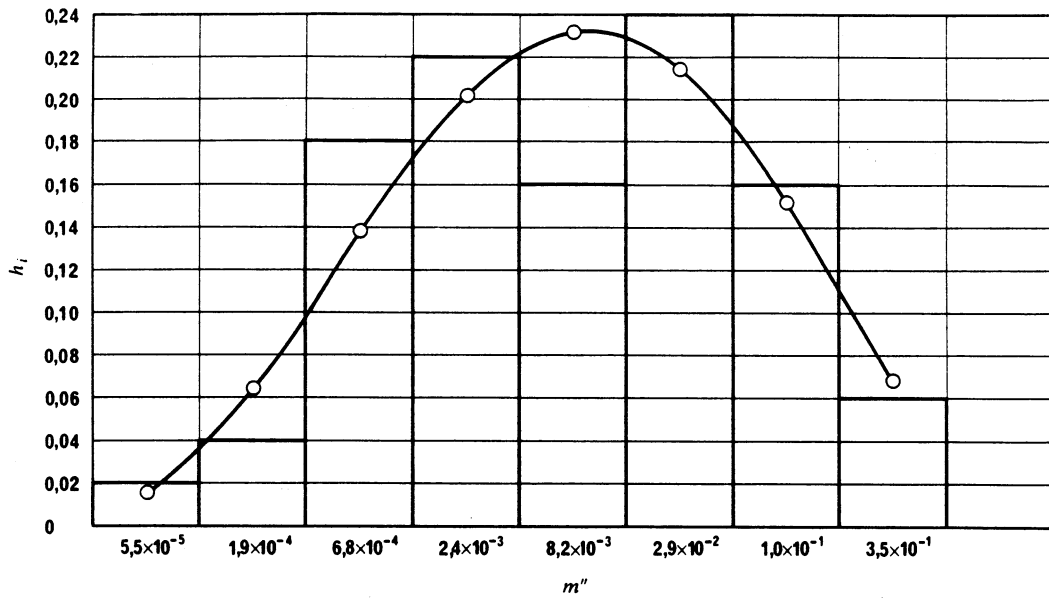


FIGURE 1
(Voir Tableau I, N° 1)

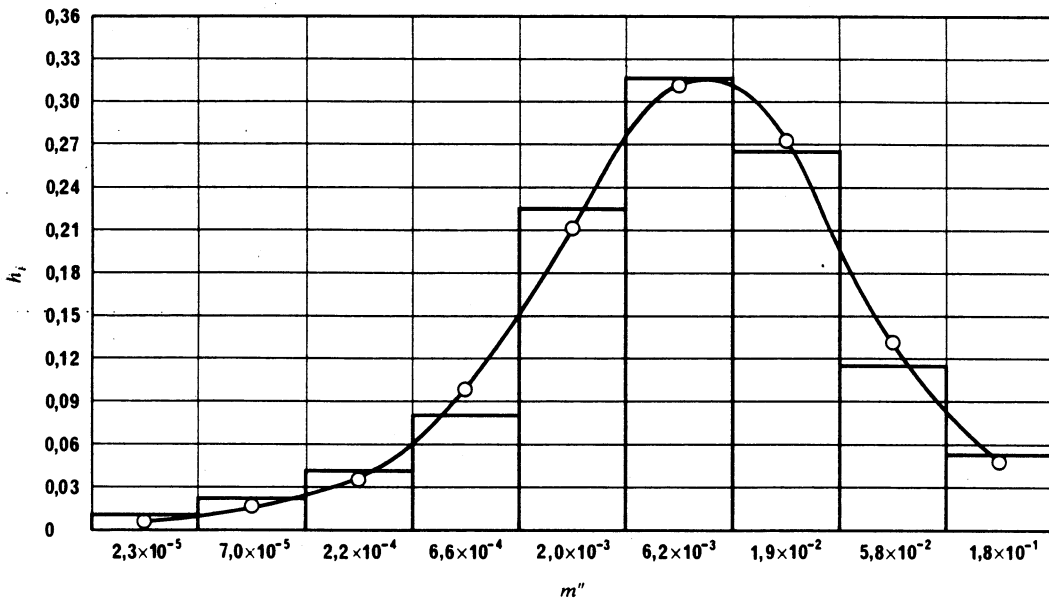


FIGURE 2
(Voir Tableau I, N° 2)

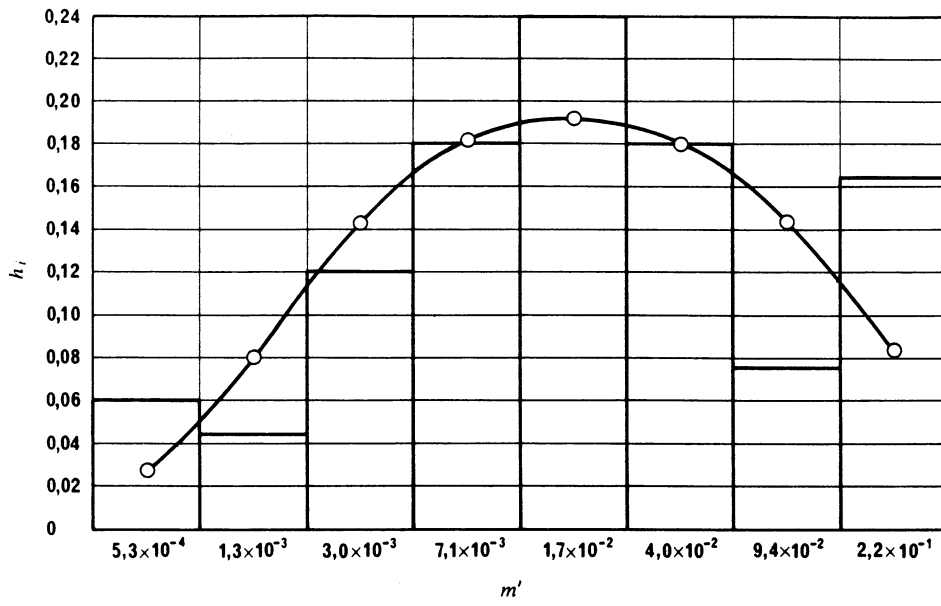


FIGURE 3
(Voir Tableau I, N° 3)

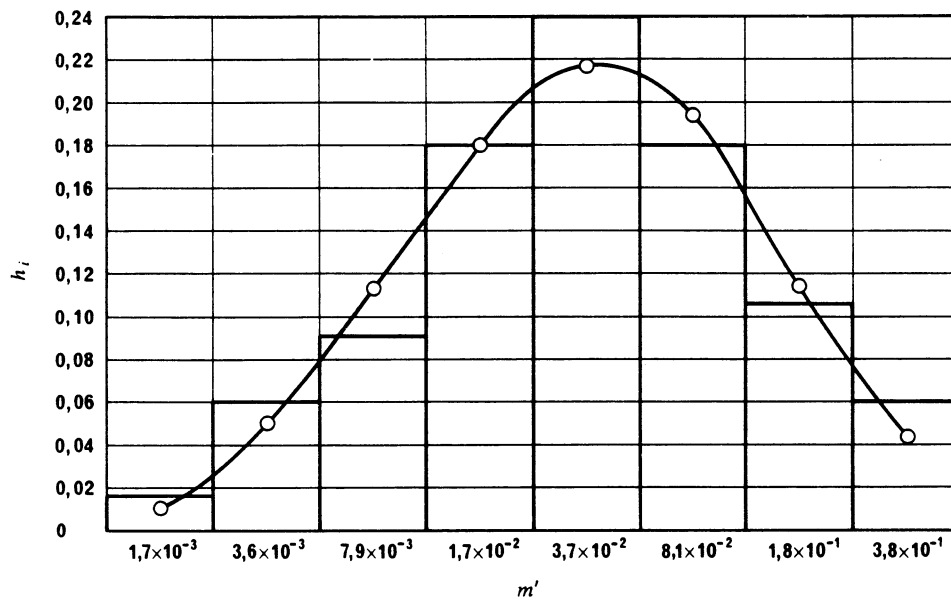


FIGURE 4
(Voir Tableau I, N° 4)

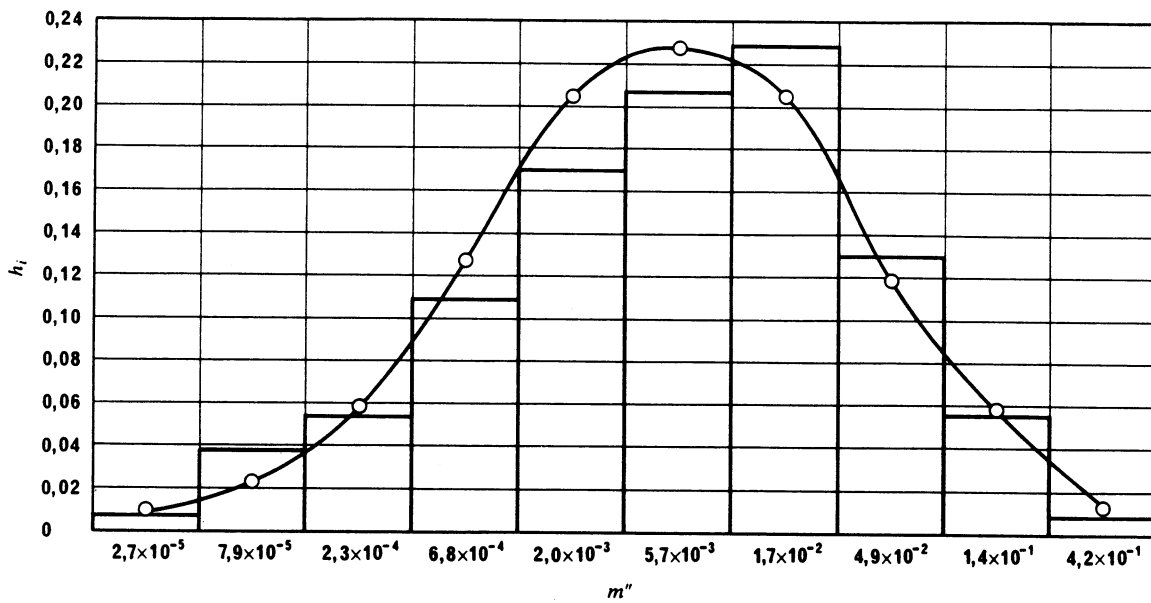


FIGURE 5
(Voir Tableau I, N° 5)

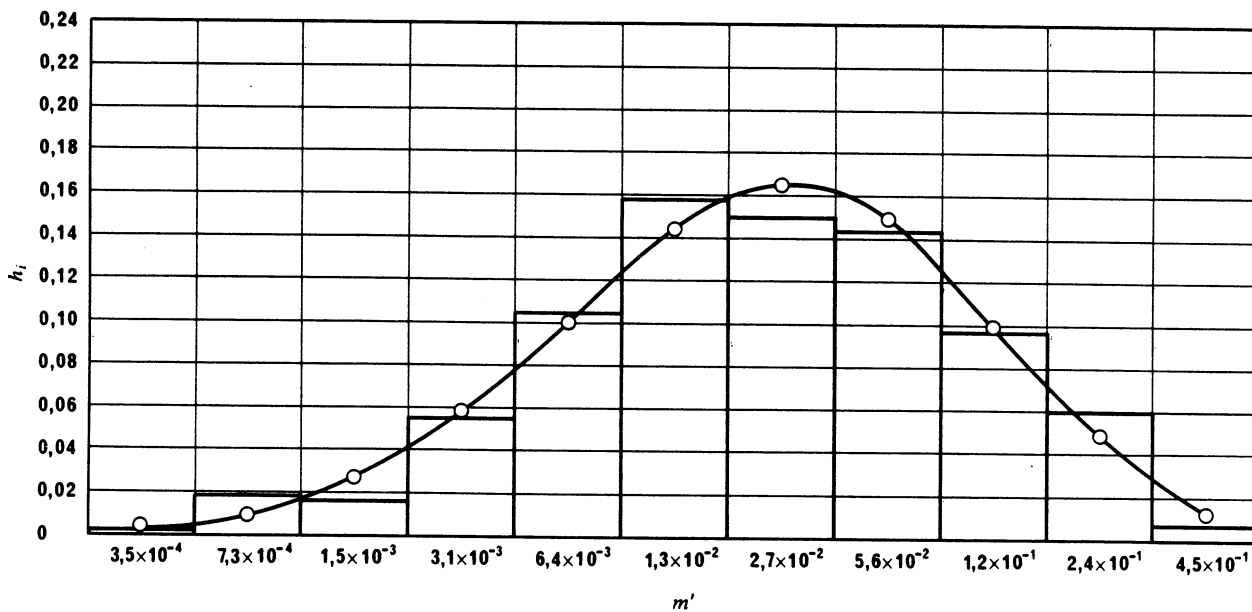


FIGURE 6
(Voir Tableau I, N° 6)

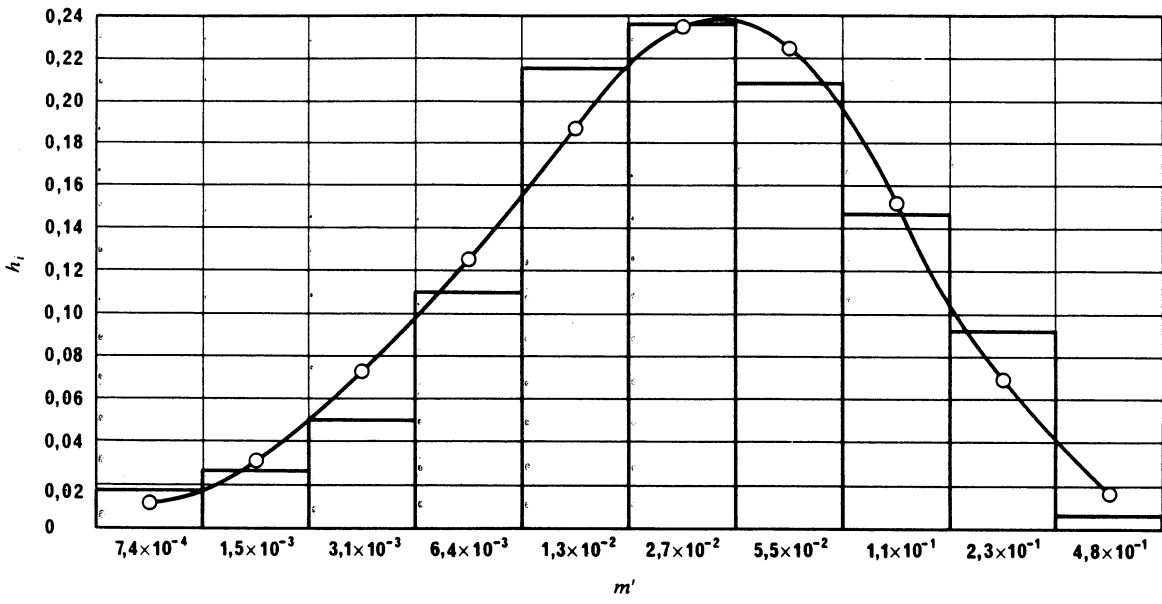


FIGURE 7

(Voir Tableau I, N° 7)

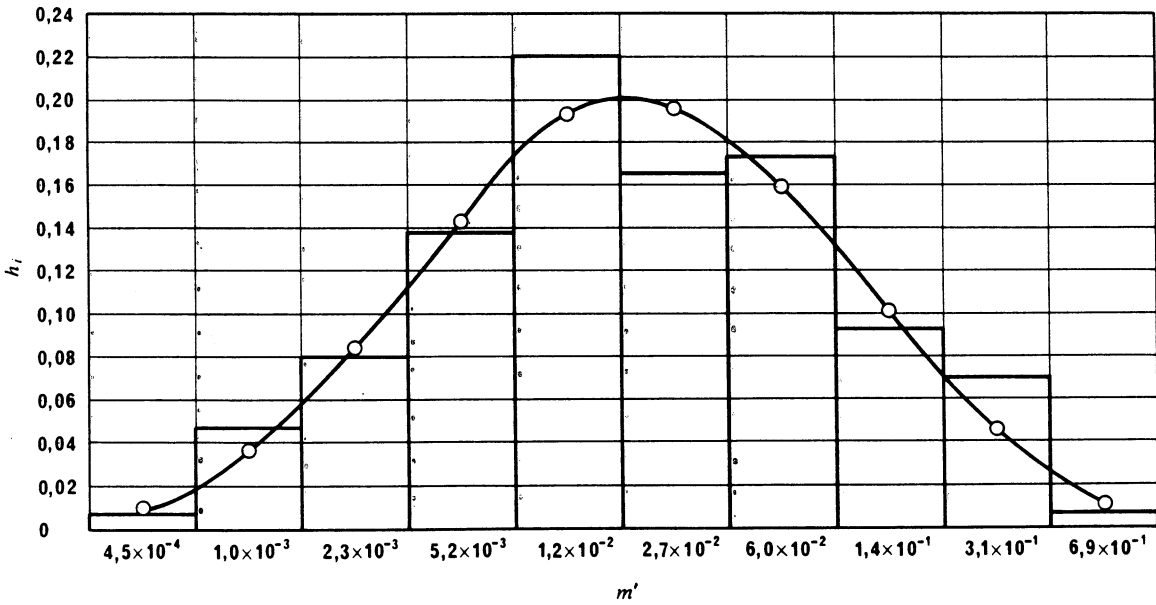


FIGURE 8

(Voir Tableau I, N° 8)



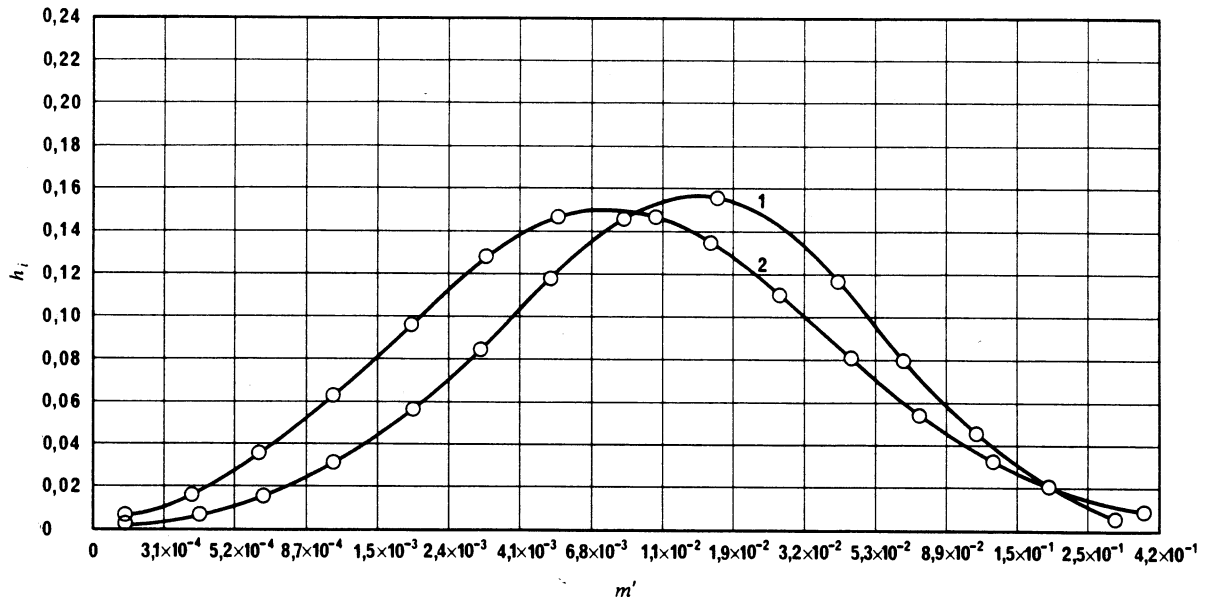


FIGURE 9

(Voir Tableau I, Nos 9 et 10)

Contrairement aux courbes précédentes, les histogrammes et les courbes de répartition représentées dans les Fig. 5, 6, 7 et 8 ont été tracés pour un échantillon de grande taille, ce qui améliore considérablement la concordance entre les courbes empiriques et les courbes calculées. D'autre part, ces courbes confirment nettement la stabilité statistique des séries de variation; elles confirment également le caractère invariable des courbes d'approximation. Ces résultats sont obtenus en dépit du fait que la formation des séries se faisait par sommation de données obtenues dans des communications entre plusieurs stations côtières et plusieurs navires se trouvant en des points très dispersés des océans.

Les courbes de répartition 1 et 2 de la Fig. 9 (on n'a pas représenté les histogrammes des résultats expérimentaux, afin de ne pas compliquer la figure) se rapportent à des données expérimentales obtenues simultanément pour des vacances ayant les mêmes caractéristiques fréquentielles et spatiales dans la voie de transmission; ces courbes concernent respectivement l'exploitation sans utilisation d'un régénérateur de signaux (courbe 1) et avec utilisation de ce régénérateur (courbe 2).

La Fig. 9 montre bien comment les courbes de répartition $\log \tau_c$ peuvent être utilisées pour apprécier l'efficacité d'application, dans les voies de transmission, de différentes solutions techniques. Cette figure montre par exemple que lorsqu'on utilise un régénérateur de signaux, on améliore la fiabilité moyenne de transmission de l'information d'une quantité comprise entre $2,2 \times 10^{-2}$ et $8,1 \times 10^{-3}$. Les différences qualitatives et quantitatives entre la courbe 2 et la courbe 1 indiquent bien l'avantage résultant de l'utilisation d'un régénérateur.

Ainsi, compte tenu de la stabilité de la loi de variation de $\log \tau_c$ ou $\log \tau_b$ pour plusieurs combinaisons de valeurs des caractéristiques fréquentielles, spatiales et temporelles des vacances (pour le choix des conditions de fonctionnement d'une voie à ondes décimétriques), il existe une possibilité certaine d'évaluer objectivement l'efficacité d'application dans les voies de transmission, d'une nouvelle solution technique. A cet effet, lorsqu'on fait l'essai d'un appareil nouveau, il faut recueillir une quantité appropriée de données statistiques sur les conditions de fonctionnement de la voie, respectivement sans intervention de l'appareil et avec cet appareil. L'expérience fournie par les études statistiques sur la qualité de voies à ondes décimétriques du service maritime permet de formuler une première conclusion, à savoir qu'avec 100 à 150 communications expérimentales de 10 minutes, on peut généraliser statistiquement les résultats avec une marge d'erreur tout à fait acceptable. Lorsque l'appareil est expérimenté par les administrations de plusieurs pays, on obtient des écarts tout à fait admissibles dans l'évaluation de la qualité d'une voie. Lorsqu'on évalue l'efficacité d'utilisation, dans les voies à ondes décimétriques, de nouveaux types d'appareils, il est possible de normaliser ces écarts sur la base des résultats expérimentaux obtenus par toutes les administrations. Ces valeurs normalisées permettent de faire des évaluations comparatives de l'efficacité d'utilisation de plusieurs dispositifs techniques, ce qui évite de faire des essais collectifs exhaustifs.

Dans les travaux expérimentaux effectués à bord du «Pouchkine» et du «Magnitogorsk», la vitesse de transmission relative V , a été définie en plus de caractéristiques précitées grâce aux appareils à impression directe fonctionnant en mode ARQ. De cette manière, on a obtenu des informations sur les valeurs moyennes des longueurs des blocs successifs erronés et sur la nature de leur distribution. V , est définie comme le rapport du nombre de blocs correctement acceptés, N_c , au nombre total de blocs transmis, N . V , a été déterminée pendant

divers intervalles de chaque cycle de vacation pour mettre en évidence la dynamique des modifications de la qualité des voies pendant la durée de la vacation. Cette étude avait pour objet d'évaluer la durée nécessaire des périodes de mesures pour que la qualité de transmission des canaux numériques soit déterminée sur une base statistique.

La Fig. 10 présente un histogramme généralisé et la courbe de la distribution de la densité de probabilité h_i par rapport à la vitesse relative de la transmission V_r pendant la durée de la vacation. La courbe de la Fig. 10, de même que celles des Fig. 1 à 9, suivent la loi de Gram-Charlier.

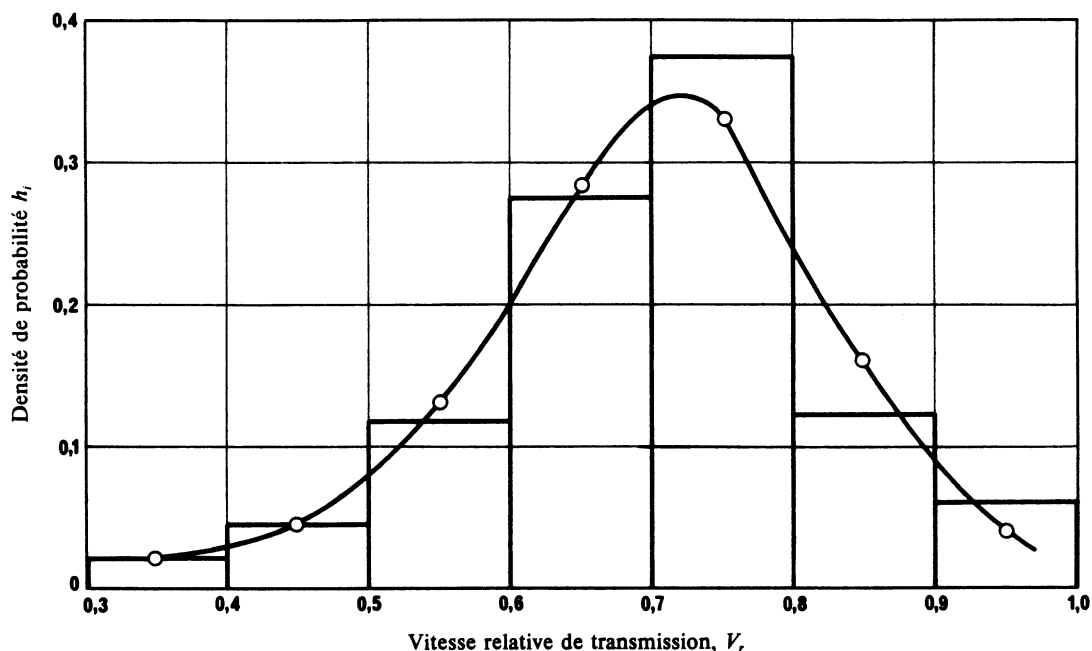


FIGURE 10 - Distribution de la densité de probabilité

Au cours des essais, il a été établi que l'intervalle d'établissement de la moyenne de V_r pour obtenir une évaluation significative de la qualité du canal au cours de la séance de mesure ne doit pas être inférieur à 100 blocs. La durée des séances de mesure ne doit pas être inférieure à 10 à 12 min, compte tenu du passage des canaux de l'état de fonctionnement à l'état de repos et vice versa (passage caractéristique des bandes d'ondes décimétriques).

6. Méthodes préférées pour effectuer les essais

6.1 Selon les essais effectués en mer et l'analyse des résultats par l'URSS, et conformément aux méthodes décrites par d'autres chercheurs, il convient pour tester des équipements complets, de transmettre une séquence connue de caractères, y compris des caractères de sortie de code le cas échéant, la qualité de fonctionnement étant exprimée par le taux d'erreur sur les caractères reçus. Afin de définir des méthodes de conception optimales, on utilise une longue séquence aléatoire d'éléments numériques, la séquence complète d'éléments numériques corrects et erronés étant enregistrée sur papier ou sur bande magnétique pour être ultérieurement analysée par ordinateur; on obtient ainsi des valeurs statistiques sur les paquets d'erreurs que l'on peut appliquer, en tant que taux d'occurrence des erreurs, à des caractères à codage numérique, pour pouvoir comparer différentes méthodes de codage et de protection contre les erreurs. Certains chercheurs ont utilisé, au lieu du train d'éléments numériques pseudo-aléatoire, la séquence 010101 qui simplifie le problème de synchronisation de code au récepteur, mais ne donne pas une simulation exacte du trafic télégraphique.

6.2 Lorsque des essais d'équipements complets sont faits dans des conditions d'exploitation réelles, les tests doivent porter sur toutes les heures du jour, en été et en hiver. Si l'on veut comparer les équipements, les essais doivent être effectués successivement sur une voie avec la même fréquence.

6.3 Les essais de l'équipement de transmission numérique sur des liaisons du service mobile maritime à ondes métriques ou décimétriques sont beaucoup moins difficiles à réaliser que les essais en ondes décamétriques parce que, dans leur cas, la propagation par trajets multiples provient essentiellement d'objets réfléchissants à terre, ce qui se traduit par des schémas de brouillage qui ne varient pas d'un jour à l'autre. Les temps de propagation par trajets multiples sont aussi beaucoup plus courts dans le cas des ondes métriques ou décimétriques que dans celui des ondes décamétriques, de sorte que, normalement, il ne devrait pas y avoir d'évanouissements différentiels en fréquence sur les largeurs de bandes utilisées pour les voies à ondes métriques. Si les essais sont réalisés sur les trajets comportant plusieurs milieux représentatifs, il devrait être possible de faire des comparaisons fiables de la qualité de fonctionnement des équipements et de déterminer la portée probable de service.

6.4 Quand on effectue des essais d'équipements numériques comportant un relais par satellite, il faut tenir compte de la réflexion provenant des structures du navire, en effectuant des émissions dans de nombreuses directions et sous des angles de site différents; il faut aussi tenir compte de la réflexion à la surface de la mer, en réalisant des essais représentatifs des conditions variées de l'état de la mer que l'on est susceptible de rencontrer.

7. Conclusions

7.1 La documentation établie par la Commission d'études 3 s'applique directement à la transmission en ondes décamétriques.

7.2 On ne dispose pas de statistiques relatives à la gamme des valeurs de l'intensité du signal et du niveau de bruit que l'on peut prévoir à tout moment sur des liaisons navire-station côtière en ondes décamétriques et l'on ne connaît pas les portées du service. Il faut donc en définitive procéder actuellement à une évaluation de la qualité de fonctionnement de l'équipement sur des trajets de transmission réels. En raison de la variation des conditions de propagation en fonction de l'heure, de la saison et de la fréquence, on ne peut obtenir la fiabilité voulue que si l'on procède aux essais pendant une période de longue durée. On peut comparer directement différents équipements fonctionnant simultanément ou à moins de quelques minutes d'intervalle.

7.3 En général, les administrations ne disposent pas de simulateurs de voies en ondes décamétriques qui ont été mis au point jusqu'ici. Ces simulateurs permettent de définir avec précision les conditions d'essai et, le cas échéant, de les répéter, de manière à procéder à des comparaisons fiables des équipements. Toutefois, on ne possède pas d'informations assez nombreuses sur l'intensité du signal et sur les conditions de bruit sur les liaisons navire-côtière, pour pouvoir établir un simulateur de voie représentant fidèlement les conditions de communication que l'on rencontre en pratique.

7.4 En attendant que les paramètres du trajet de transmission et les statistiques de bruit qui peuvent s'appliquer aux conditions de communication navire-côtière soient définis, il convient d'utiliser, pour les essais effectués à l'aide de simulateurs de trajet, la gamme de valeurs indiquée dans l'Annexe I à la Recommandation 520.

7.5 Les études entreprises n'ont pas permis d'aborder tous les aspects du problème de l'évaluation objective de la qualité de ces voies de transmission. Etant donné l'importance de ces problèmes, il serait bon de poursuivre les travaux expérimentaux et théoriques en vue de répondre à la Question 42/8.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- KORN, G. et KORN, T. [1970] *Spravotchnik po matematike dlia naoutchnykh rabotckikov i injenerov* (Les mathématiques à l'usage des chercheurs scientifiques et des ingénieurs), traduit de l'anglais. Ed. Naouka, Moscou.
- MITROPOLSKY, A. K. [1971] *Tekhnika statisticheskikh vychislenii* (Méthodes du calcul statistique). Ed. Naouka, Moscou.
-