

TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 7 au 12 mai 1973

RECHERCHE DE CRITERES DE CLASSIFICATION

G. RICCARDI (*)

CIT - ALCATEL

(*) *L'étude a été effectuée au Centre d'Etude des Phénomènes Aléatoires de Grenoble (CEPHAG - laboratoire associé au CNRS - 46, Avenue Félix Viallet 38 - GRENOBLE).*

RESUME

Identifier un bruiteur, ensemble de machines élémentaires, est un problème actuellement mal résolu.

La première difficulté apparaît lors du choix de la représentation du signal reçu.

La représentation fréquentielle semble être une de celles qui mettent le mieux en évidence des critères de classification.

Dès lors, notre attention est principalement portée sur les fluctuations en fréquence des raies spectrales dans le temps.

Une étude théorique validée par des résultats expérimentaux tend à prouver que les propriétés statistiques peuvent servir de bases de classification.

SUMMARY

The identification of complex noises resulting from a combination of machinery sounds is a problem not very well resolved at present.

It seems that a frequency representation is best suited for feature extraction.

It is therefore attempted in this paper, to prove both theoretically and practically that the statistical properties of the time frequency fluctuations of spectral components can be used as features of classification.

1. INTRODUCTION

Lorsqu'un problème de reconnaissance de formes se présente, le procédé de résolution le plus souvent employé consiste, à rechercher parmi les nombreuses méthodes qui existent dans ce domaine, celle qui convient le mieux au problème, écartant, peut-être à jamais, l'étude des paramètres physiques.

Par de telles démarches, les traitements sont souvent mal adaptés, compliqués et conduisent à des machines de taille disproportionnée.

Pour notre part, sans perdre de vue l'aspect classification, nous nous sommes volontairement attachés à l'étude physique des éléments du problème espérant apporter une aide et une simplification à la phase de reconnaissance proprement dite.

2. DESCRIPTION GENERALE DU PROBLEME

2.1. Généralités

Le but à atteindre, est de reconnaître des bruiteurs en écoute passive. Un bruiteur est un ensemble de machines et de pièces mécaniques qui "bouge" et qui "fait du bruit", bruit que nous considérons comme le signal utile et qui est la seule information reçue.

Ces machines seront encore appelées sources élémentaires ou éléments de bruiteur ; par extension, on parlera de signaux élémentaires et de spectres élémentaires.

L'ensemble est enfermé dans une enveloppe et peut évoluer à différentes vitesses.

Un point matériel important est à noter :

Les bruiteurs se distinguent entre eux par des différences de construction, de composition et de fonctionnement.

A titre d'illustration, le tableau 1 représente un type de composition, exemple qui reflète la multiplicité des éléments et la complexité du problème.



Classification des principaux éléments d'un bruiteur :

- Vitesse du bruiteur : $N = 60$ à 290 t/mn.

<u>Nombre</u>	<u>N° de type</u>	<u>Fréquences fondamentales</u>
2	1	de 15 à 42 Hz
2	2	de 110 à 130 Hz
2	3	de 80 à 150 Hz
4	4	voisin de 20 Hz
2	5	" 20 Hz
4	6	" 29 Hz
2	7	" 29 Hz
2	8	" 58 Hz
2	9	" 12 Hz
1	10	$0,172 N$ (Hz)
1	11	$0,231 N$ (Hz)
2	12	$N/60$ (Hz)
2	13	$4N/60$ (Hz)

- Exemples de type d'élément : diesel, alternateur, compresseur, moteur électrique, électro-pompe ...

TABLEAU 1

D'autres points restent inconnus, notamment les instants de fonctionnement de chaque machine et la génération du signal global.

Deux types d'éléments peuvent être distingués :

- ceux dont la vitesse et le régime sont fixes et stationnaires localement,
- ceux dont la vitesse varie.

2.2. Forme de représentation du signal

La plupart des sources élémentaires a un fonctionnement quasi-périodique (machines tournantes).

C'est sous sa forme fréquentielle qu'il semble, a priori, le plus judicieux de représenter le signal reçu.

Le spectre global se décompose en un spectre continu (ou "spectre de fond") peu caractéristique du bruiteur et en un spectre de raies qui traduisent le fonctionnement périodique des machines.

Les phénomènes physiques n'étant stationnaires que localement une analyse spectrale "en temps réel" se révèle nécessaire.

2.3. Contraintes physiques dues au milieu ambiant

Le milieu dans lequel évoluent les bruiteurs, perturbe considérablement l'amplitude du signal.

D'une part, l'atténuation globale du signal est fonction de la distance bruiteur-récepteur et de la fréquence, d'autre part, aux phénomènes de réverbération s'ajoutent des effets parasites qui font que les variations de niveau du signal dues au milieu ambiant sont très importantes.

Une étude statistique de l'amplitude de diverses raies spectrales a montré que l'amplitude caractérisait les propriétés du milieu et non pas celles du bruiteur-source.

L'amplitude du signal nous servira uniquement à dire que la raie à telle fréquence existe ou n'existe pas.

Du point de vue spectral, les réflexions du signal sur les frontières introduisent un élargissement des raies spectrales qui reste cependant inférieur à la finesse d'analyse de travail.

2.4. Orientation de la méthode de reconnaissance

Deux attitudes peuvent être prises devant ce problème de reconnaissance :

- soit, on essaie de reconnaître le bruiteur globalement et on définit ainsi des classes de bruiteur,
- soit, on essaie d'identifier les sources élémentaires puis par synthèse le bruiteur.

Nous avons préféré, pour notre part, opter pour la seconde méthode et nous orienter vers une classification analytique ou instrumentale.

3. ETUDE THEORIQUE DU SIGNAL RECU

3.1. Ecriture du Spectre instantané

Soit $S(t)$ le signal émis par le bruiteur, et

$X_i(t)$ la composante créée par sa i ème source élémentaire.

La périodicité de fonctionnement des éléments nous permet d'écrire :

$$x(v) = \sum_n c_n \delta(v - nv_0) \quad (1)$$



$$\text{avec} \quad x(v) \rightleftharpoons X(t) \quad (2)$$

$$\text{si} \quad S(t) \rightleftharpoons s(v) \quad (3)$$

$$\text{comme} \quad S(t) = \sum_i X_i(t) \quad (4)$$

$$s(v) = \sum_i \sum_n c_{n,i} \delta(v - n\nu_{o_i}) \quad (5)$$

ν_{o_i} : fréquence fondamentale du ième élément.

$S(t)$ n'étant pas stationnaire globalement, mais seulement sur des tranches de temps Δt_k , le spectre du signal d'un bruiteur peut s'écrire :

$$s(v) = \sum_k \sum_i \sum_n c_{n,i}(\Delta t_k) \delta[v - n\nu_{o_i}(\Delta t_k)] \quad (6)$$

Les coefficients $c_{n,i}(\Delta t_k)$ représentent l'amplitude des raies spectrales ; les variations de fréquence apparaissent dans les termes $n\nu_{o_i}(\Delta t_k)$

Vu les résultats d'analyse, $\nu_{o_i}(\Delta t_k)$ peut être écrit sous la forme

$$\begin{aligned} & - \text{d'un terme continu } \overline{\nu_{o_i}} \\ & - \text{d'un terme de fluctuations centrées, } \tilde{\nu}_{o_i}(\Delta t_k) \\ \nu_{o_i}(\Delta t_k) &= \overline{\nu_{o_i}} + \tilde{\nu}_{o_i}(\Delta t_k) \end{aligned} \quad (7)$$

L'écriture finale de $s(v)$ est :

$$s(v) = \sum_k \sum_i \sum_n c_{n,i}(\Delta t_k) \delta\{v - n[\overline{\nu_{o_i}} + \tilde{\nu}_{o_i}(\Delta t_k)]\} \quad (8)$$

$s(v)$ évolue dans le temps ; il pourra être qualifié de spectre évolutif.

3.2. Propriétés des fluctuations de position de raies spectrales:

Comme nous venons de le voir, la position d'une raie fondamentale est :

$$\nu_{o_i}(\Delta t_k) = \overline{\nu_{o_i}} + \tilde{\nu}_{o_i}(\Delta t_k) \quad (9)$$

celle de son harmonique de rang n

$$nv_{o_i}(\Delta t_k) = n\bar{v}_{o_i} + n\tilde{v}_{o_i}(\Delta t_k) \quad (10)$$

En normalisant les fluctuations centrées par leur valeur moyenne,

$$\frac{\tilde{v}_{o_i}(\Delta t_k)}{\bar{v}_{o_i}} \quad \text{et} \quad \frac{n\tilde{v}_{o_i}(\Delta t_k)}{n\bar{v}_{o_i}} \quad (11)$$

nous remarquons que les fluctuations de position de raies harmoniques lorsqu'elles sont normalisées par leur valeur moyenne :

- sont identiques
- représentent les fluctuations du fondamental
- ne dépendent plus de leur rang
- caractérisent l'élément qui leur a donné naissance.

3.2.1. Application aux paramètres statistiques

3.2.1.1. Valeur moyenne

- d'un fondamental

$$\begin{aligned} m_{v_{o_i}} &= E \{ v_{o_i}(\Delta t_k) \} \\ &= \bar{v}_{o_i} \end{aligned} \quad (12)$$

- d'un harmonique

$$\begin{aligned} m_{nv_{o_i}} &= E \{ n v_{o_i}(\Delta t_k) \} \\ &= n \bar{v}_{o_i} \\ &= nm_{v_{o_i}} \end{aligned} \quad (13)$$



3.2.1.2. Variance

- d'un fondamental

$$\begin{aligned}\sigma_{v_{o_i}}^2 &= E \{ |v_{o_i}(\Delta t_k) - m_{v_{o_i}}|^2 \} \\ &= E \{ |\tilde{v}_{o_i}(\Delta t_k)|^2 \} \end{aligned} \quad (14)$$

- d'un harmonique

$$\sigma_{nv_{o_i}}^2 = n^2 \sigma_{v_{o_i}}^2 \quad (15)$$

3.2.1.3. Coefficient de variation v

Il est défini comme étant le rapport de l'écart-type et de la moyenne.

Il vaut :

- pour un fondamental

$$v_{v_{o_i}} = \frac{\sigma_{v_{o_i}}}{m_{v_{o_i}}} \quad (16)$$

- pour son harmonique

$$v_{nv_{o_i}} = \frac{\sigma_{nv_{o_i}}}{m_{nv_{o_i}}} = \frac{n\sigma_{v_{o_i}}}{nm_{v_{o_i}}} = v_{v_{o_i}} \quad (17)$$

On en déduit la propriété suivante :

Le coefficient de variation des fluctuations de position d'une raie de rang quelconque est égal à celui des fluctuations de son fondamental et caractérise l'élément qui, lui a donné naissance.

3.2.2. Etude des fluctuations par leur fonction de corrélation

A l'observation des relevés de raies, certaines fluctuations de position présentaient des caractères déterministes tels que des périodicités.

Dans l'hypothèse où ces fluctuations résultent d'une superposition d'une fonction certaine et d'un bruit, nous avons cherché :

- à mettre en évidence une modulation moyenne
- à réduire le bruit qui se superpose.

On démontre que :

- la fonction d'autocorrélation d'un signal périodique a même période fondamentale que le signal périodique lui-même et contient toutes les fréquences de ce signal et celles-ci seulement.
- un traitement par autocorrélation peut améliorer le rapport signal/bruit.

3.2.3. Propriété de la fonction de corrélation d'un spectre de raies

La fonction de corrélation en fréquence du signal-fréquence :

$$s(\nu) = \sum_i \sum_n c_{n,i} \delta(\nu - n\nu_{o_i})$$

s'écrit

$$C_{ss}(\mu) = \sum_i \beta_i \frac{\theta}{\nu_{o_i}} a^2 \left\{ 1 + \beta_i \frac{\theta}{\nu_{o_i}} \frac{K^2}{\left(K - \frac{\mu}{\theta}\right)^2} \sum_{n=0}^K \delta(\mu - n\nu_{o_i}) \right\} \quad (18)$$

$$\beta = \frac{N_r}{N_t} = \frac{\text{nombre de raies détectées}}{\text{nombre de raies théoriques}}$$

θ : cadence d'échantillonnage du spectre

K : rang de l'harmonique supérieur

a : amplitude des raies

Cette fonction de corrélation fait apparaître une distribution de raies de même période que celle du spectre $s(\nu)$, mais cette distribution est complète et contient le fondamental et tous les harmoniques, le spectre de départ $s(\nu)$ ne contenant que quelques raies.



3.2.4. Précisions de mesures

Les données physiques qui seront traitées par la suite, seront numériques c'est-à-dire échantillonnées et quantifiées.

Les traitements numériques entachent les mesures d'erreurs qui peuvent être corrigées (correction de Sheppard, par exemple), ou minimisées si certaines conditions sont remplies (théorème de Shannon, par exemple).

De même, les estimations de paramètres statistiques ou de fonctions de corrélation ne sont valables que si des contraintes sont respectées (nombre de mots suffisant, par exemple).

Nous nous bornons à rappeler les erreurs d'estimation des paramètres statistiques :

$\hat{\Phi} =$	$E\{\hat{\Phi}\} =$	$\sigma\{\hat{\Phi}\} =$
$\hat{m} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (19)$	$m \quad (22)$	$\frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (25)$
$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} - \hat{m}^2 \quad (20)$	$\frac{N-1}{N} \sigma^2 \quad (23)$	$\frac{\hat{\sigma}_4 - \sigma_4}{N} \quad (26)$
$\hat{P}_k = \frac{P_r(X_i = k)}{\text{sur } N^i \text{ échantillons}} \quad (21)$	$P_k \quad (24)$	$\sqrt{\frac{P_k(1-P_k)}{N}} \quad (27)$

$\hat{\Phi}$ = estimateur de la variable Φ

N = nombre d'échantillons servant à l'estimation.

4. ETUDES EXPERIMENTALES ENVISAGEES

Après avoir établi des propriétés théoriques, essayons de les vérifier expérimentalement.

4.1. Etude qualitative

De même que l'écoute attentive d'un son avant traitement est nécessaire, une observation détaillée des spectres évolutifs est indispensable.

Nous recherchons aussi bien les singularités de raies telles que :

- la forme des fluctuations en fréquence
- la continuité de présence ou
- le rythme d'apparition..... (voir figure 1).

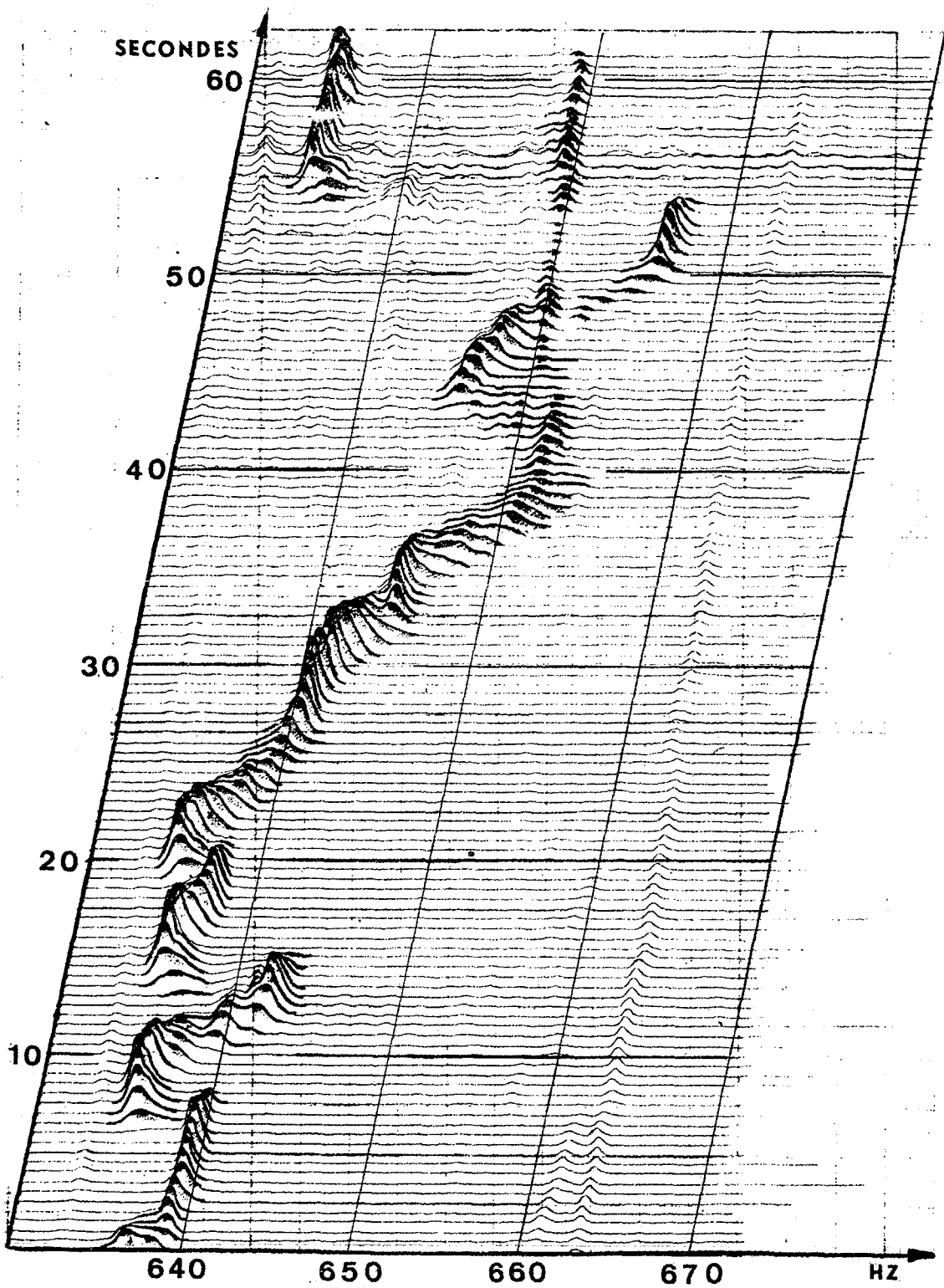


FIGURE 1 - EXEMPLE D'EVOLUTION D'UNE RAIE SPECTRALE



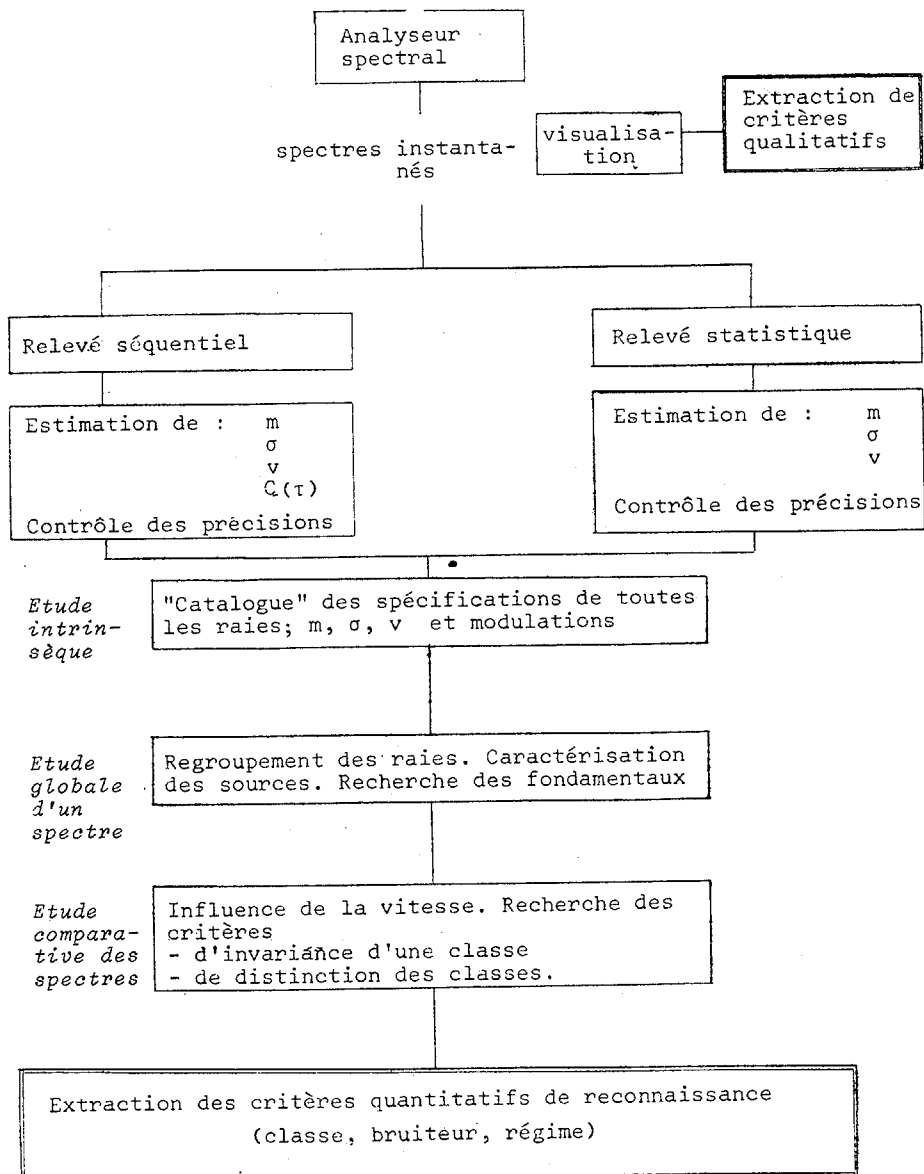
que les caractères globaux

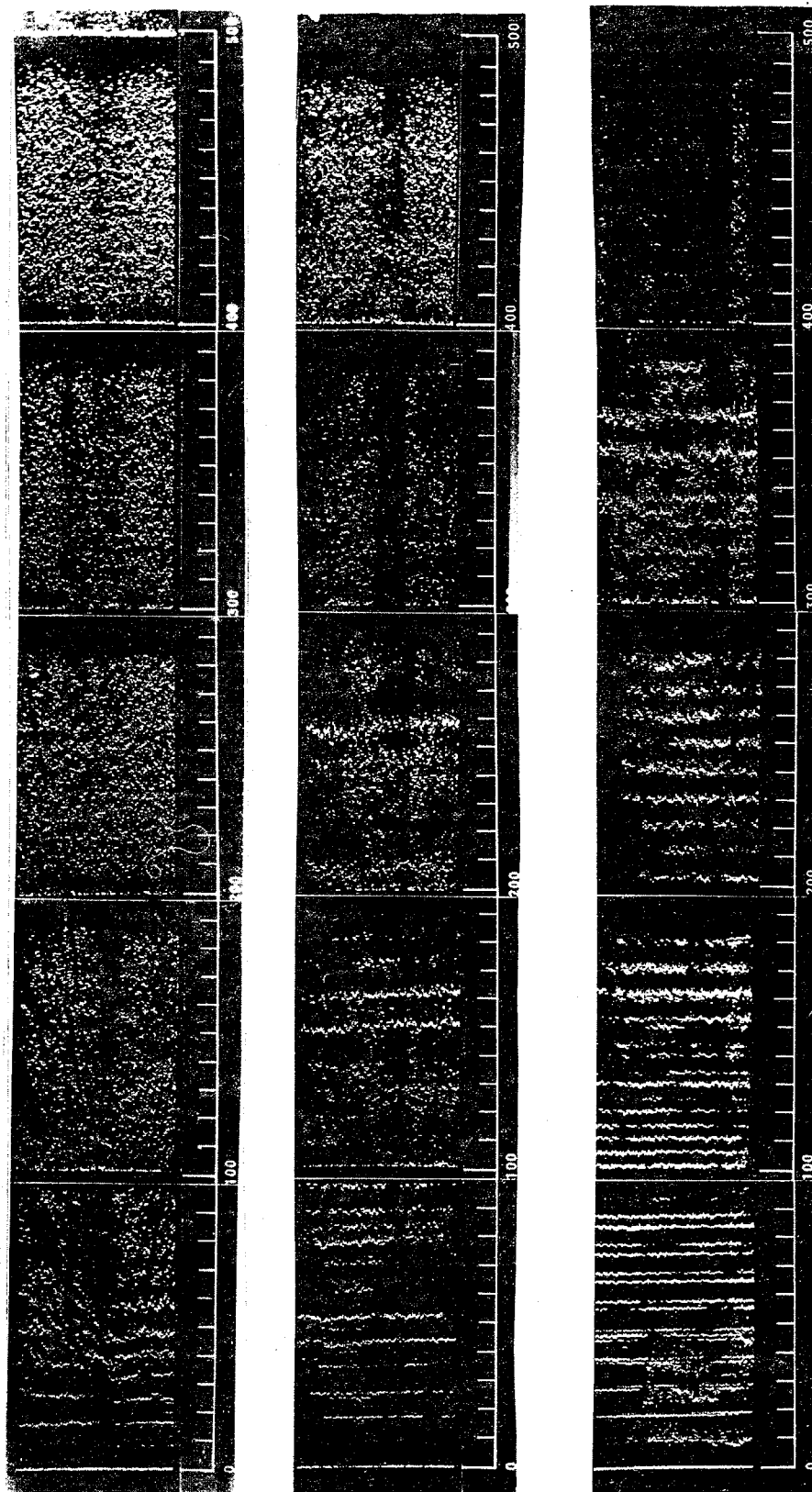
- encombrement spectral
 - distribution des raies
 - apparition ou disparition simultanée de certaines raies
 - déplacement en fréquence d'ensemble de raies
- (voir figure 2)

La visualisation des spectres évolutifs a demandé l'étude et la réalisation d'un dispositif électronique spécial dont quelques résultats sont représentés aux figures 3 et 4.

4.2. Etude quantitative

Le tableau 2 résume les traitements envisagés.





BRUTEUR:

d'une 1ère
classe

d'une 2ème
classe

d'une 3ème
classe

FIGURE 2 - EXEMPLE D'ENCOMBREMENT SPECTRAL DES RAIES EN FONCTION DE LA CLASSE
DES BRUTEURS

(pour une même vitesse = 100 t/mn.)

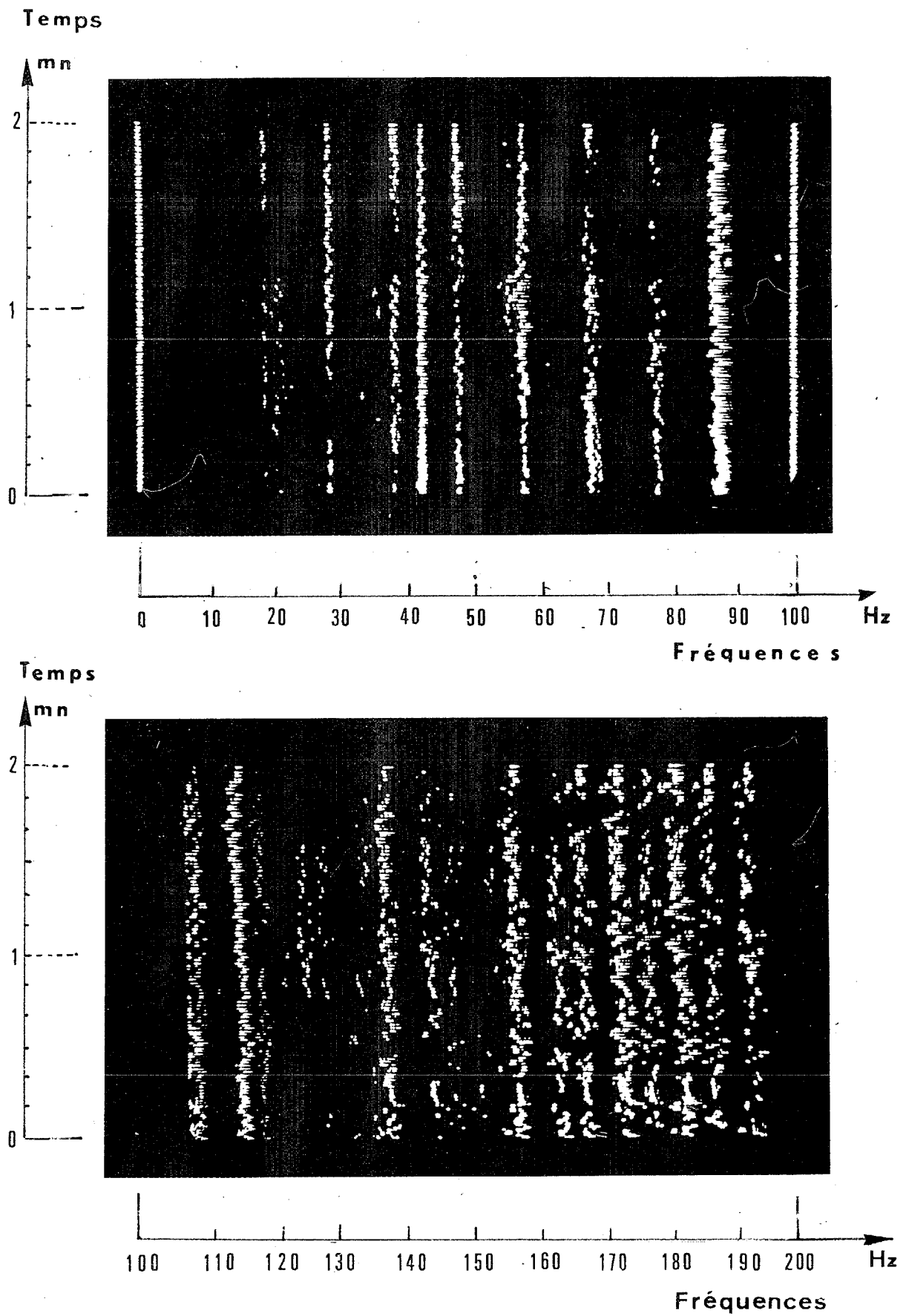


FIGURE 3. PHOTOGRAPHIE BIDIMENSIONNELLE
DE SPECTRES EVOLUTIFS

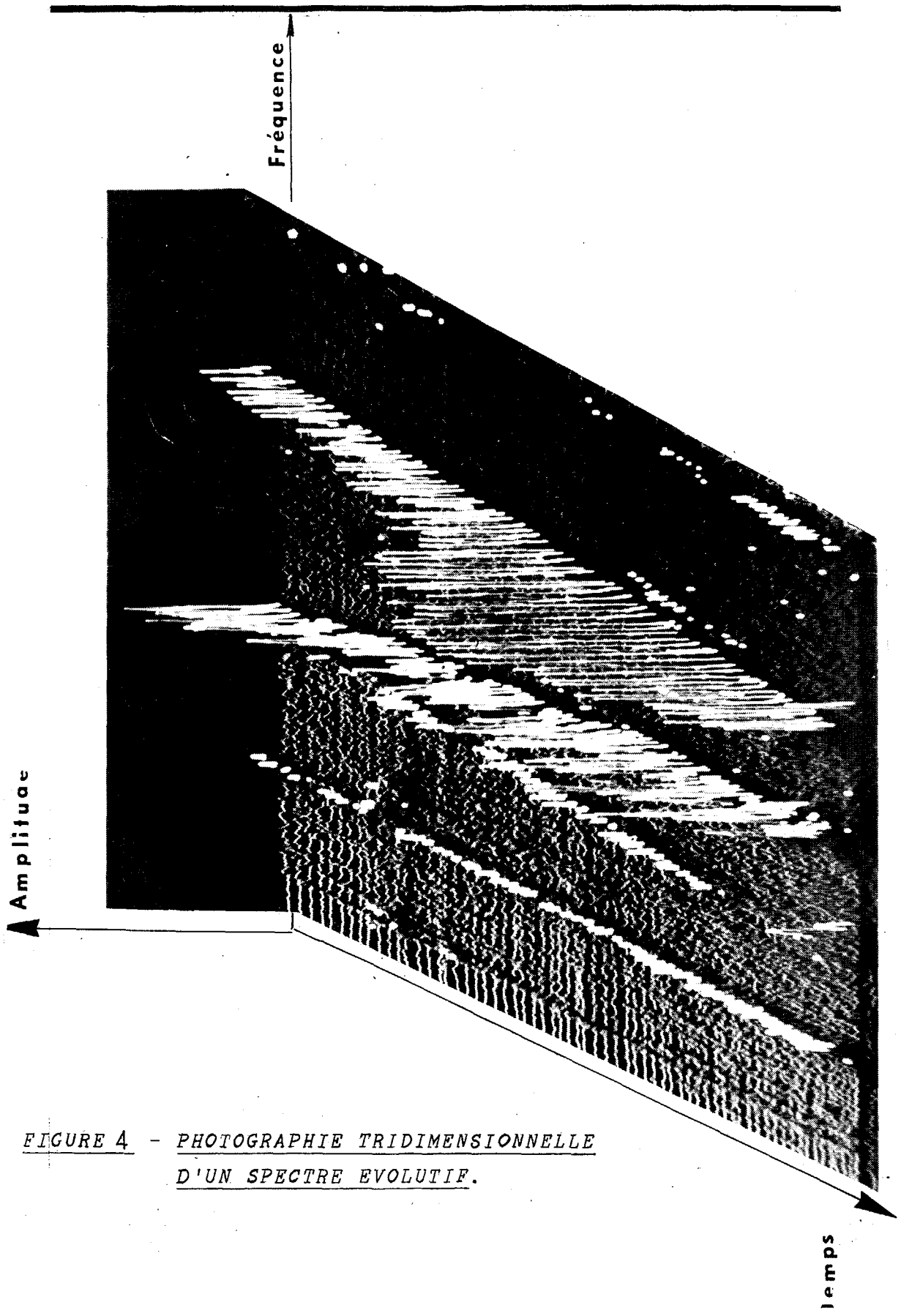


FIGURE 4 - PHOTOGRAPHIE TRIDIMENSIONNELLE
D'UN SPECTRE EVOLUTIF.



4.3. Appareillage

Il se compose essentiellement d'une chaîne de mesure statistique qui comprend ;

- un magnétophone AMPEX FR 1800
- un analyseur spectral temps réel
- des circuits de prétraitement et d'extraction de données
- un sélecteur multicanaux
- un mini-calculateur T2000

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX

5.1. Etude de sources élémentaires

Avant d'aborder l'étude de spectres complets, nous avons analysé des raies harmoniques de diverses sources isolées.

5.1.1. Etude des paramètres statistiques

TABLEAU N° 3

Sources	Première méthode						Deuxième méthode					
	m Hz	$\pm \Delta m$ Hz	σ Hz	$\pm \Delta \sigma$ Hz	v	$\pm \Delta v$	m Hz	$\pm \Delta m$ Hz	σ Hz	$\pm \Delta \sigma$ Hz	v	$\pm \Delta v$
Type I	472,72	0,2	0,22	0,06	$0,47 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	472,85	0,02	0,20		$0,42 \cdot 10^{-3}$	
	595,90	0,2	0,29	0,03	$0,48 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	595,63	0,03	0,27		$0,46 \cdot 10^{-3}$	
Type II	480,40	0,1	1,16	0,5	$0,24 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}	480,58	0,04	0,89		$0,21 \cdot 10^{-2}$	
	555,76	0,1	1,22	0,1	$0,22 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	555,73	0,03	1,30		$0,23 \cdot 10^{-2}$	
Type III							206,95	0,04	1,43	0,02	$0,69 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}
							225,82	0,04	1,60	0,02	$0,71 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$
							244,64	0,04	1,78	0,02	$0,72 \cdot 10^{-2}$	$0,6 \cdot 10^{-4}$
							620,10	0,05	4,4	0,1	$0,71 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
							638,97	0,05	4,46	0,09	$0,70 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
							657,88	0,05	4,7	0,1	$0,71 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Type IV	72,58	0,06	0,65	0,05	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-4}$	72,54	0,02	0,62	0,04	$0,85 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}
	88,94	0,1	1,66	0,1	$1,8 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}	88,81	0,03	0,82	0,05	$0,92 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}
	108,01	0,04	1,37	0,03	$0,98 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	108,19	0,01	0,97	0,05	$0,90 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}
Type V							512,95	0,1	0,58	0,001	$0,12 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}
							529,83	0,1	0,72	0,004	$0,13 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}
							538,72	0,3	0,80	0,007	$0,11 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}
							548,18	0,1	0,88	0,007	$0,12 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}

Les résultats obtenus montrent que le coefficient de variations v peut servir :

- à regrouper des raies harmoniques. (même valeur de v) ;
- à caractériser un type de source.

La fréquence fondamentale peut alors être calculée, par exemple, les raies situées à :

207 Hz, 226 Hz, 244 Hz, 620 Hz, 639 Hz et 658 Hz
sont les harmoniques de rang
11 12 13 33 34 35
d'une fréquence fondamentale de : 18,9 Hz.

Les fluctuations de position des raies de sources de type I et II ont la forme suivante (figure 5) :

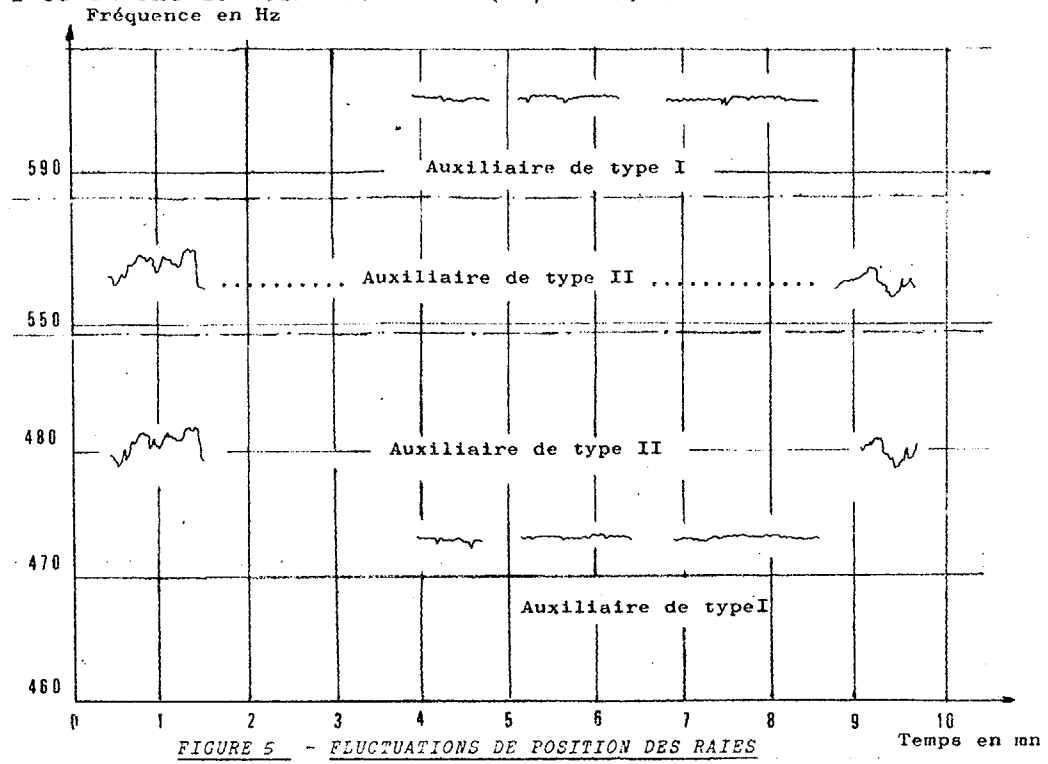


FIGURE 5 - FLUCTUATIONS DE POSITION DES RAIES DES SOURCES DE TYPE I ET II.

et celles de la source de type IV (figure 6)

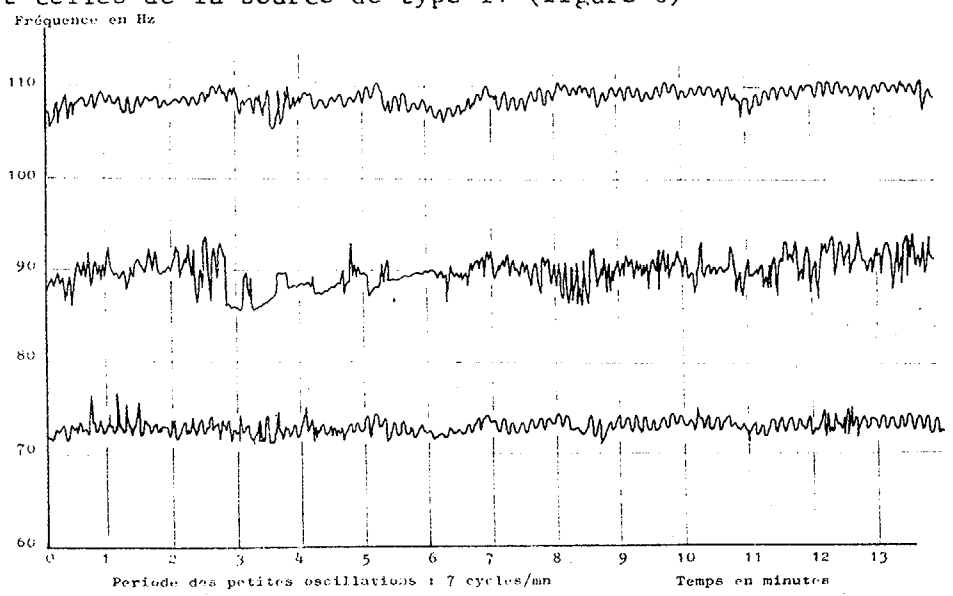


FIGURE 6 - FLUCTUATIONS DE POSITION DES RAIES DE LA SOURCE DE TYPE IV.

5.1.2. Etude des fonctions de corrélation de fluctuations fréquentielles

Les fonctions d'autocorrélation ont été estimées pour les raies suivantes :



Source de type II (figure 7)

Raie à 480 Hz - Période des principales modulations détectées : ≈ 10 s

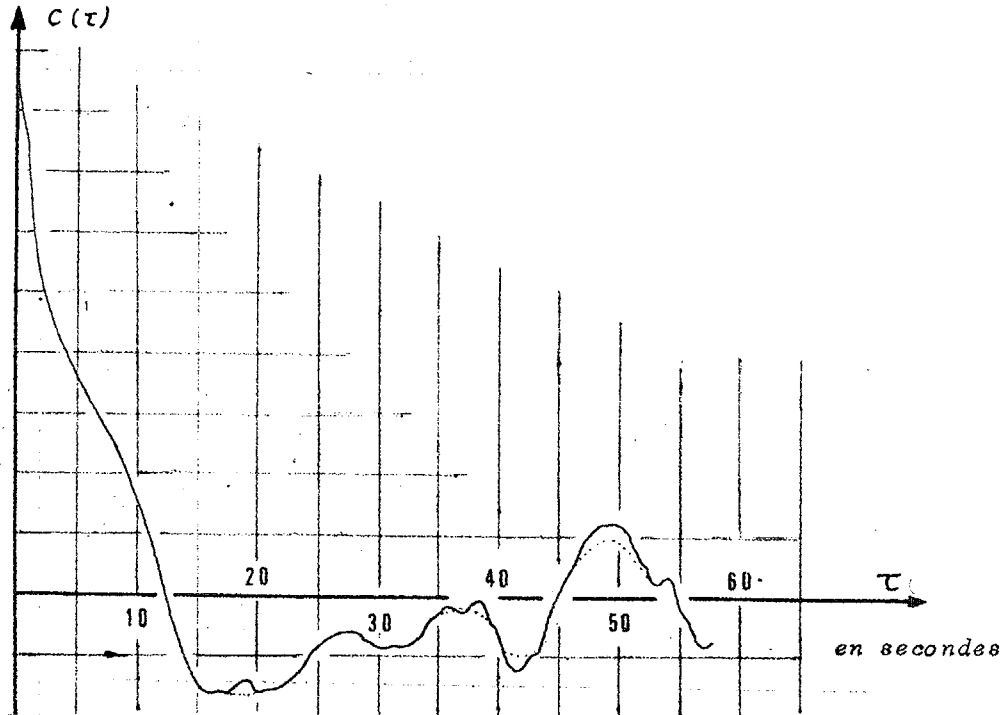


FIGURE 7 - FONCTION D'AUTOCORRELATION DE LA RAIE à 480 Hz (SOURCE TYPE II)

Source de type III (figure 8)

Raie à 639 Hz - Période des principales modulations détectées : 150 s

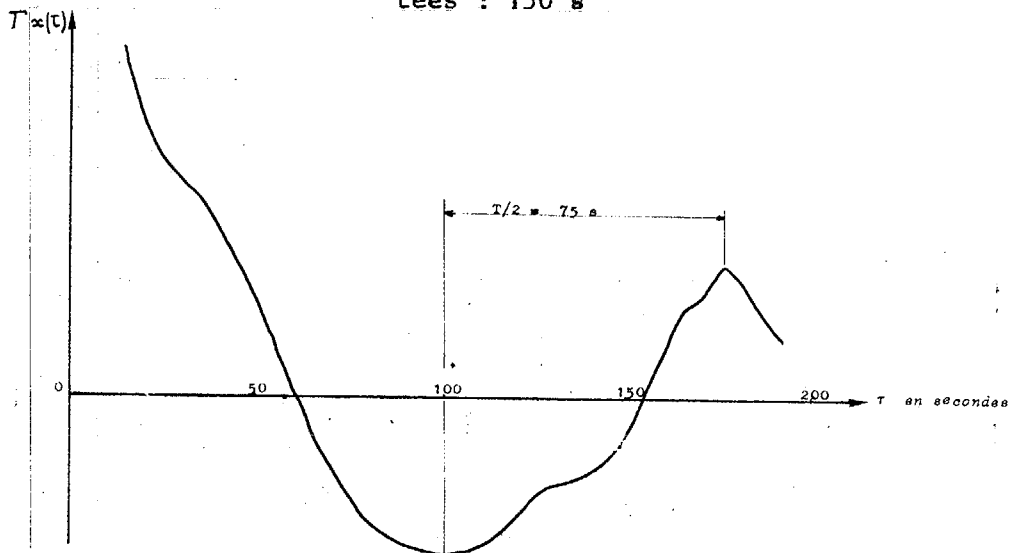
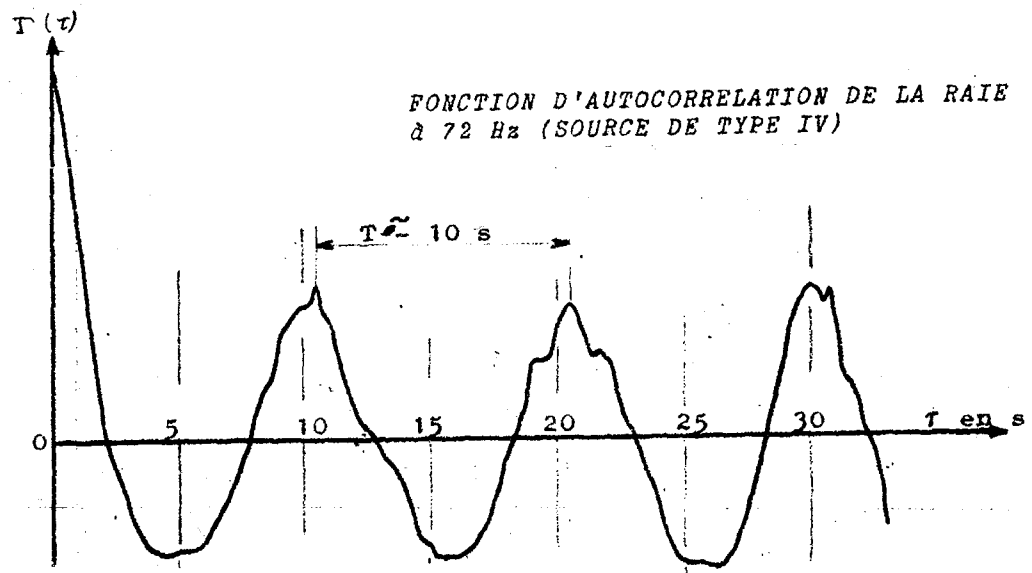
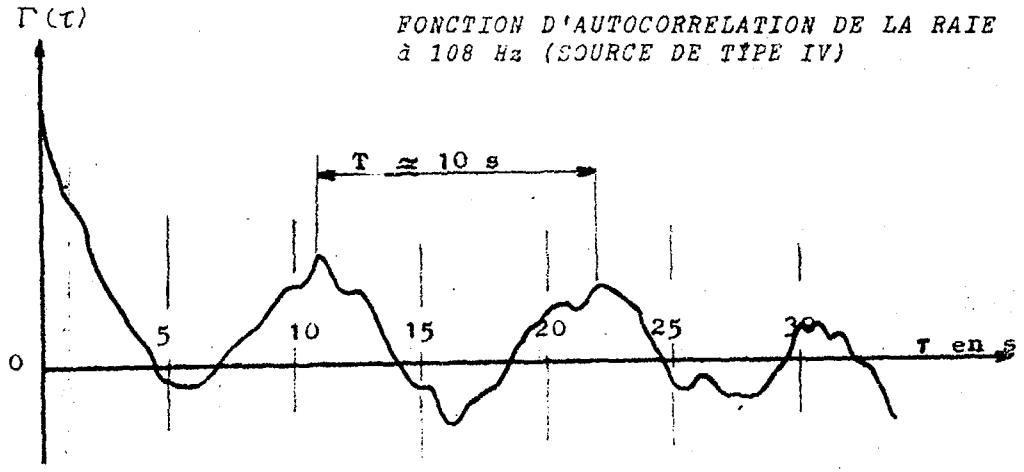


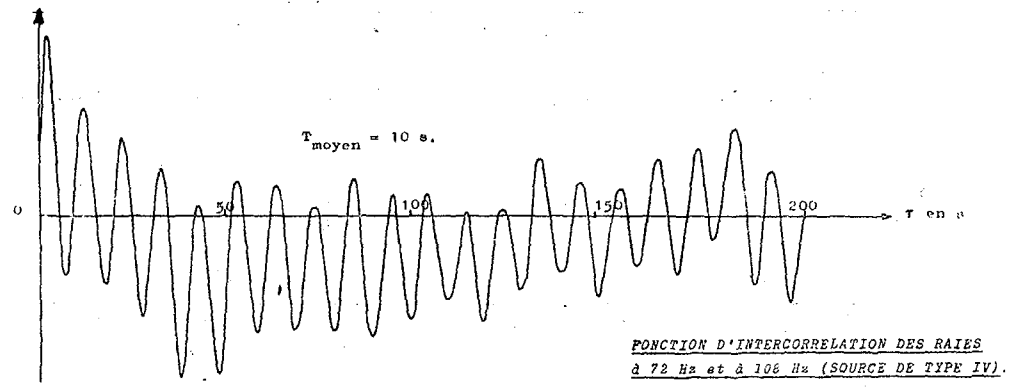
FIGURE 8 - FONCTION D'AUTOCORRELATION DE LA RAIE à 639 Hz (SOURCE TYPE III)

Source de type IV (figure 9)

Raies à 72 Hz et 108 Hz - Période des principales modulations détectées : 10 s.



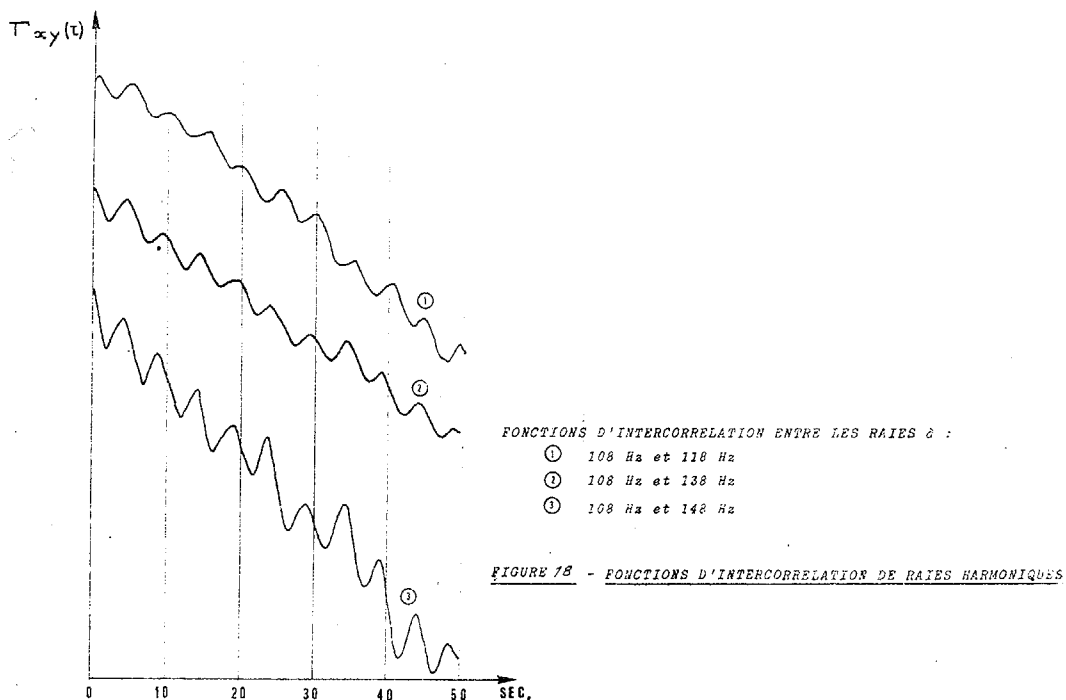
La fonction d'intercorrélation entre les fluctuations des raies 72 Hz et 108 Hz de la source du type IV, a été tracée (figure 10). Une période de 10 s commune aux deux raies, apparaît.





L'interprétation de ces modulations reste difficile, l'origine physique étant mal connue. La découverte de cette dernière serait utile pour justifier nos dires. Néanmoins nous pensons que cette caractérisation est un maillon important de l'identification.

Quelques fonctions d'intercorrélation (figures 12 et 18) entre les raies harmoniques ont été tracées. Cependant le nombre de combinaisons possibles entre les raies devenant rapidement important et l'interprétation des fonctions d'intercorrélation étant difficile, nous ne retiendrons pas cette méthode.



5.3. Recherche de fondamentaux par un procédé d'autocorrélation en fréquence sur un spectre de raies intégré

Nous avons recherché, par cette technique, les fondamentaux situés dans la gamme 0-60 Hz, à partir de spectres de raies "intégrés" définis sur 0-500 Hz (un spectre "intégré" étant un spectre moyen sur .2 à 3 minutes).

Quelques résultats sont exposés aux figures 19, 20 et 21 de la page suivante (trois bruiteurs de classes différentes). Les fondamentaux, ainsi que les premiers harmoniques apparaissent. La complexité de construction des bruiteurs reparaît dans ces résultats.

A notre avis, cette méthode, testée sur des spectres intégrés donnent des éléments trop rudimentaires et conviendrait à une classification globale.

Dans le cadre d'une identification instrumentale, un traitement en temps réel sur un spectre instantané, mériterait d'être expérimenté. Malheureusement, nous n'avons pu le faire lors de cette étude.

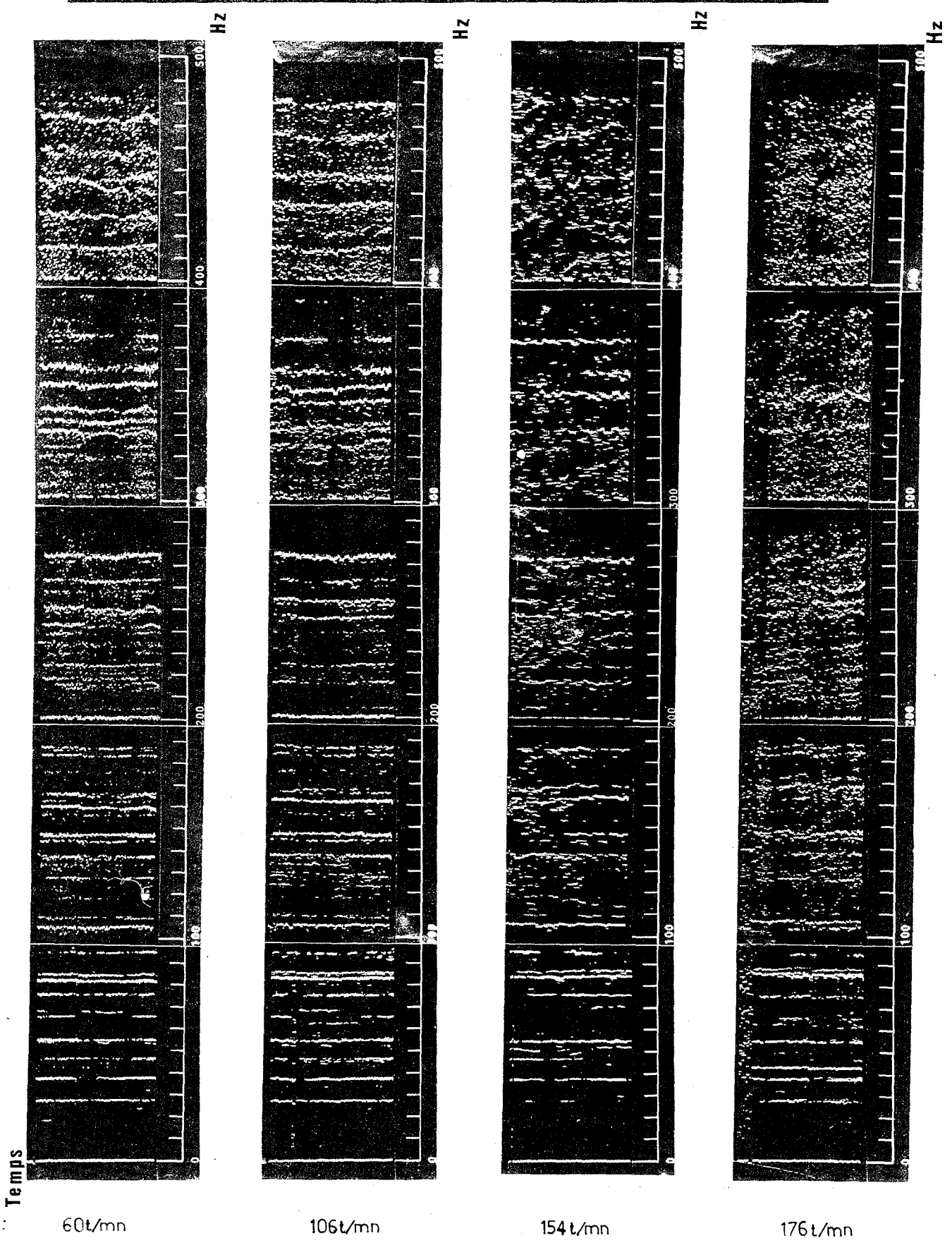


FIGURE 11 Spectres évolutifs d'un bruiteur



Dans ce bruiteur, nous identifions

5.2.1.1. des sources élémentaires indépendantes de la vitesse, de caractéristiques suivantes

m	v	m	v
28,8 Hz	58.10^{-4}	38,7 Hz	65.10^{-4}
55,8 Hz	44.10^{-4}	76,5 Hz	25.10^{-4}
95,7 Hz	22.10^{-4}	116,5 Hz	37.10^{-4}
119,7 Hz	36.10^{-4}	157,8 Hz	31.10^{-4}

et d'autres sources, dont les raies (marquées d'un *) n'apparaissent pas systématiquement à toutes les vitesses.

138,3 Hz	14.10^{-4}	147,8 Hz	25.10^{-4}	173,0 Hz	16.10^{-4}
----------	--------------	----------	--------------	----------	--------------

La raie à 152,7 Hz est vraisemblablement harmonique de celle à 76,6 Hz (rapport 2 sur les fréquences moyennes ; coefficient v, sensiblement identique).

5.2.1.2. Des sources élémentaires liées à la vitesse du bruiteur dont les raies sont situées vers 80 Hz - 90 Hz.

Après contrôle effectué sur le bruiteur en marche, nous avons constaté que les sources signant à 76,5 Hz, 95,7 Hz et 147,8 Hz étaient trois éléments de même type (type A), de même pour les sources signant à 116,5 Hz et 119,7 Hz (type B) et les deux sources liées à la vitesse du bruiteur (type C).

A partir de nos résultats nous retrouvons cette même classification

- les éléments de type A sont caractérisés par $v \approx 25.10^{-4}$
- ceux de type B par $v \approx 36.10^{-4}$
- ceux de type C par $v \approx 45.10^{-4}$.

Sur la figure 12, nous avons tracé

- en v en fonction de m pour les raies de position fixe, pour différentes vitesses,
- l'évolution de m avec la vitesse pour les deux raies de position variable (il apparaît bien que ces 2 raies sont liées à la vitesse).

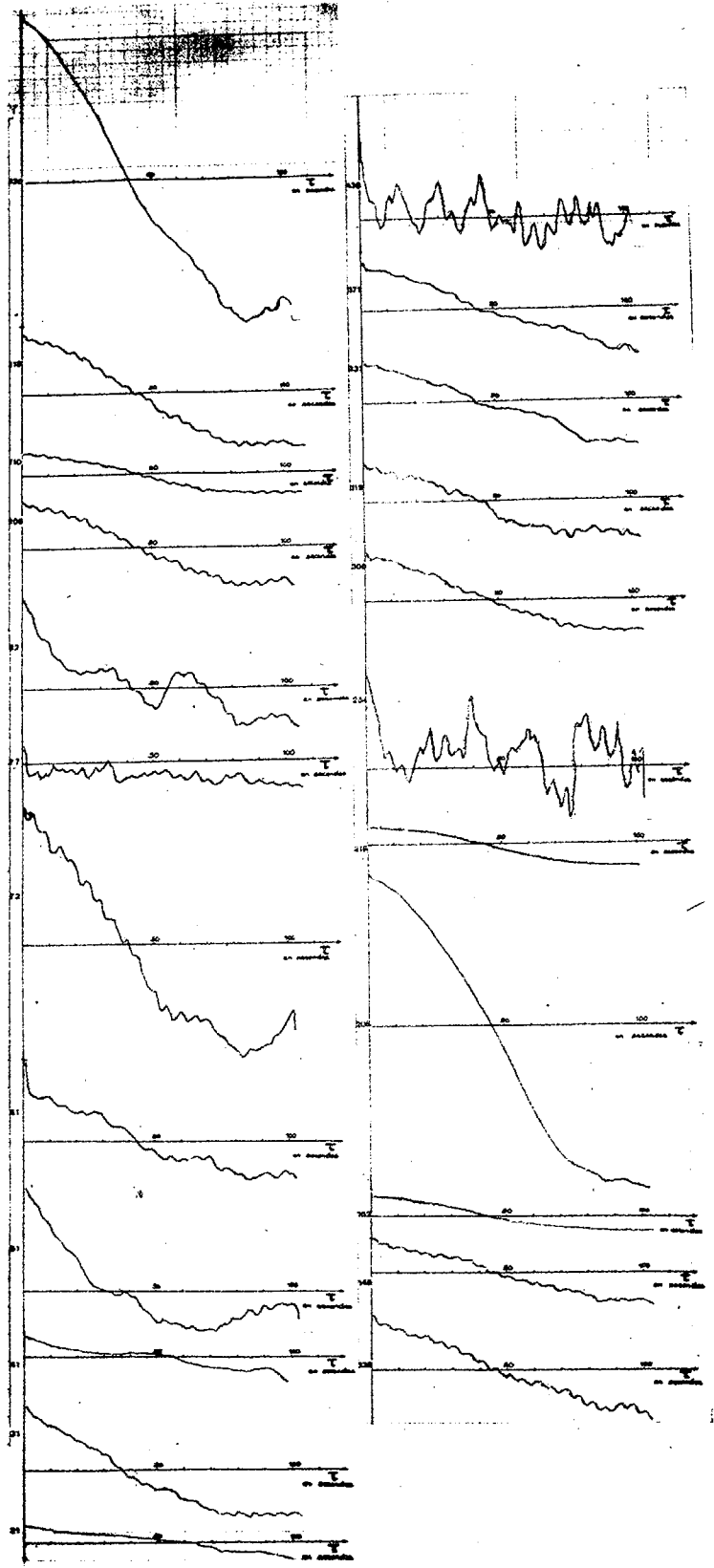


FIGURE 13 - FONCTIONS D'AUTOCORRELATION DE RAIES D'UN MEME BRUTEUR.



- des raies d'éléments non liés à la vitesse, quelle que soit la vitesse ou la classe du bruiteur (figures 15-16).

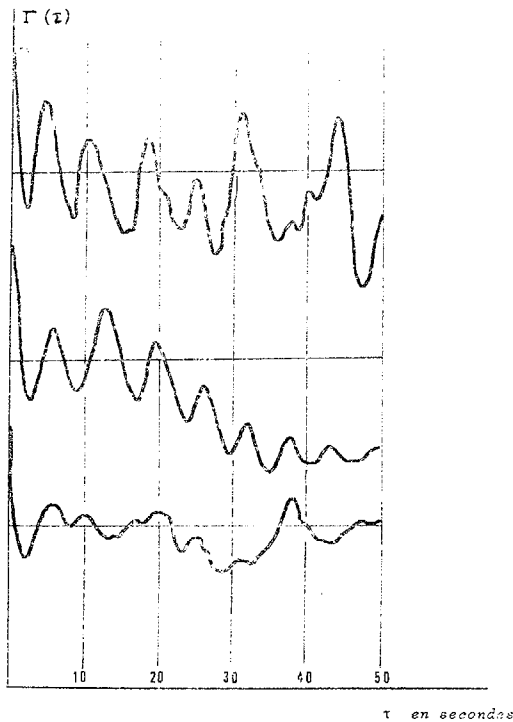


FIGURE 15 - FONCTIONS D'AUTOCORRELATION DE RAIES D'UNE MEME SOURCE APPARTENANT A PLUSIEURS BRUTEURS (source indépendante de la vitesse).

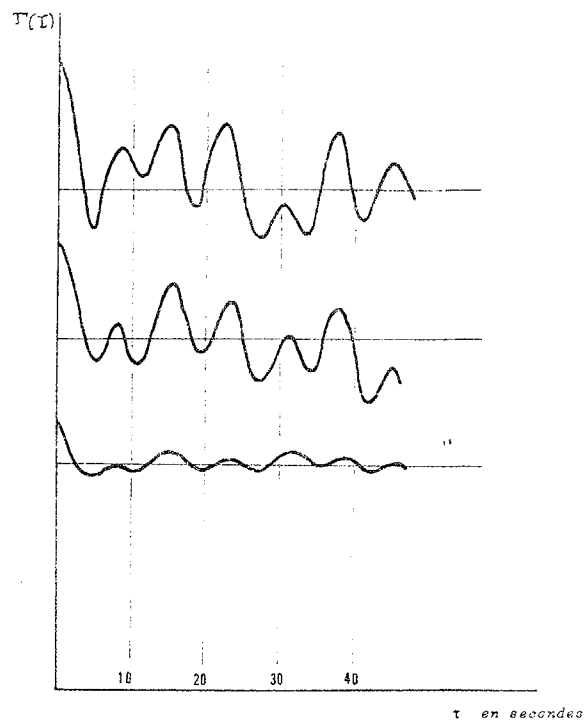
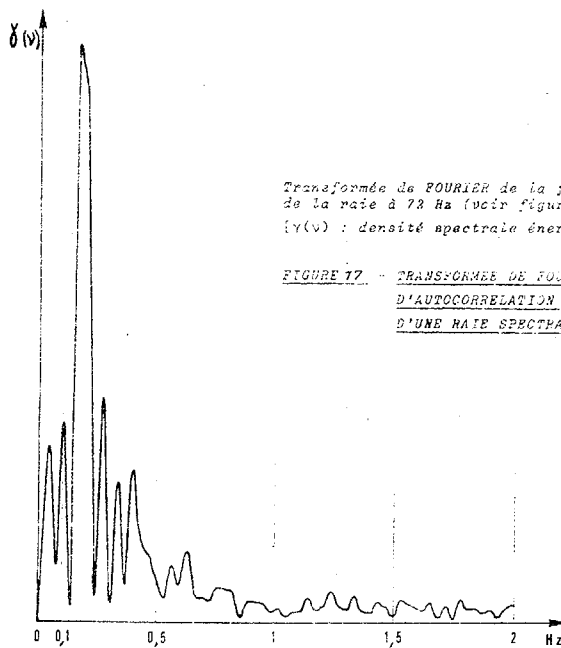


FIGURE 16 - FONCTIONS D'AUTOCORRELATION DE RAIES D'UNE MEME SOURCE A PLUSIEURS VITESSES (source indépendante de la vitesse)

Une transformation de Fourier peut être appliquée aux fonctions de corrélation pour fournir la densité spectrale énergétique des fluctuations. Exemple : figure 17.



Transformée de FOURIER de la fonction d'autocorrélation de la raie à 72 Hz (voir figure 9).

[$\delta(v)$: densité spectrale énergétique des fluctuations]

FIGURE 17 - TRANSFORMÉE DE FOURIER D'UNE FONCTION D'AUTOCORRELATION DES FLUCTUATIONS FREQUENTIELLES D'UNE RAIE SPECTRALE.



5.2. Etude des spectres d'un bruiteur

Le signal d'écoute a été analysé de 0 à 500 Hz pour 5 vitesses du bruiteur : 60 - 106 - 154 - 176 - 216 t/mn (4 spectres évolutifs en figure 11).

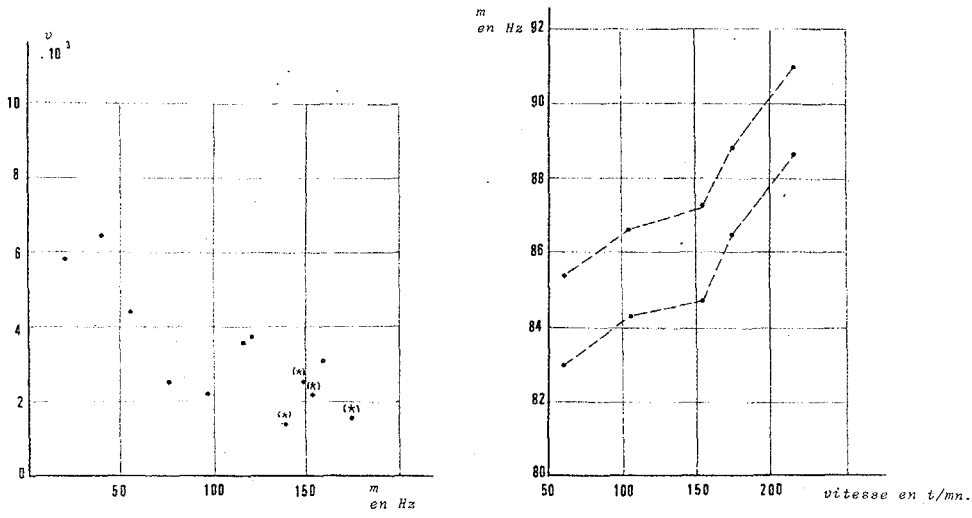
Pour plus de clarté nous ne reportons que les résultats de la bande 0 - 175 Hz, le reste de la gamme n'apportant aucune précision supplémentaire sur la méthode.

5.2.1. Etude des paramètres statistiques

Le tableau 4 rassemble les valeurs obtenues par m et v.

TABLEAU N°4

60 t/mn		106 t/mn		154 t/mn		176 t/mn		216 t/mn		Raies fixes	
mHz	v .10 ⁴	mHz	v .10 ⁴	mHz	v .10 ⁴	mHz	v .10 ⁴	mHz	v .10 ⁴	mHz	v .10 ⁴
28,8	55	28,7	62	28,8	60	28,8	57	28,8	58	28,8	58
38,8	65	38,7	72	38,5	63	38,7	66	38,4	65	38,7	65
						43,9	60				
47,8	32							47,2	46		
								48,6	57		
56,1	43	56,0	49	55,6	43	55,7	44	55,5	44	55,8	44
						63,4	30				
						66,4	16				
76,8	23	76,6	25	76,4	25	76,4	25	76,4	25	76,5	25
83,0	46										
		84,3	41	84,7	45						
85,4	40							85,7	33		
		86,6	42			86,5	46				
				87,2	47						
						88,9	42	88,6	41		
								91,0	46		
96,1	25	95,7	27	95,8	20	95,6	20	95,5	20	95,7	22
116,2	34	116,4	38	115,8	37	116,8	40	117,5	39	116,5	37
120,2	32	120,0	35	119,7	30	119,6	40	119,0	40	119,7	36
		134,0	25	134,0	25	136,0	20				
138,6	11	138,4	14	138,2	14	138,1	18			138,3*	14
148,1	26	147,8	21	147,8	32	147,7	20			147,8*	25
152,9	24	152,5	24			152,8	20	152,6	20	152,7*	22
158,2	31	157,9	34	157,3	26	157,8	32	158,0	31	157,8	31
173,3	16	173	18			172,7	12	173,1	17	173*	16



Graphique v en fonction de m pour les raies fixes.

Evolution de 2 raies en fonction de la vitesse

5.2.2. Etude des sources par la fonction d'autocorrélation des fluctuations de position de leurs raies

Nous avons essayé d'approfondir la définition des sources élémentaires par la mise en évidence de périodicités dans leur fonctionnement par l'estimation de la fonction d'autocorrélation des fluctuations des raies (figure 13 page suivante).

Certaines fonctions laissent apparaître des périodicités, ce qui traduit le caractère déterministe du fonctionnement ; les autres, par contre, correspondent à des signaux aléatoires.

D'une étude portant sur environ 300 estimations de ces fonctions, il ressort que les modulations des positions des raies sont semblables pour :

- des raies harmoniques (figures 11 et 14)

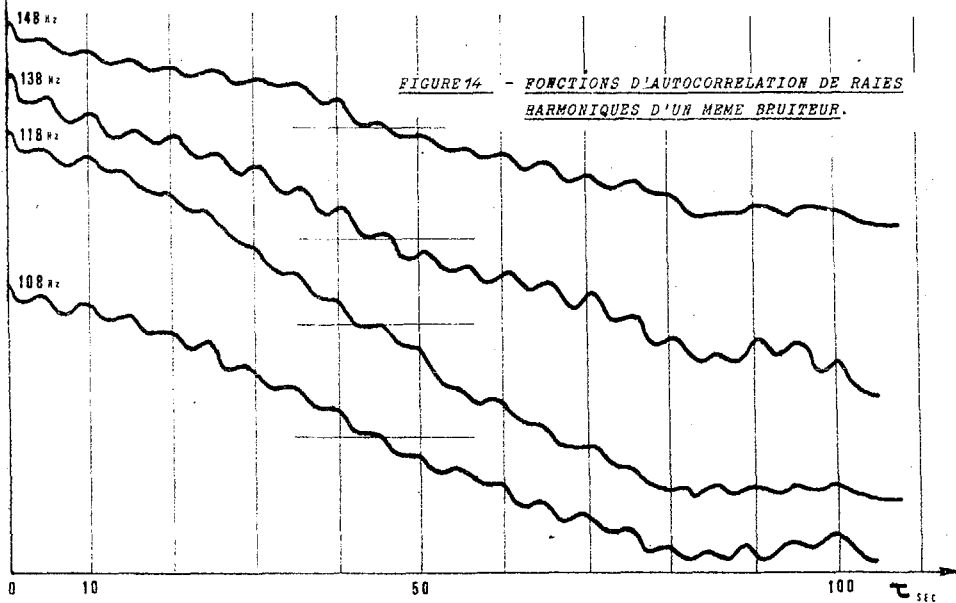


FIGURE 19 - FONCTION D'AUTOCORRELATION EN FREQUENCE D'UN SPECTRE DE RAIES.
(Bruiteur d'une première classe).

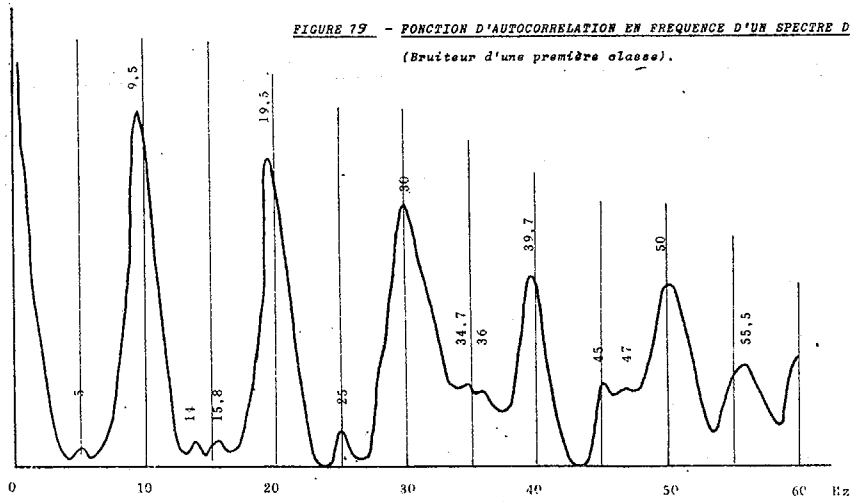


FIGURE 20 - FONCTION D'AUTOCORRELATION EN FREQUENCE D'UN SPECTRE DE RAIES.
(Bruiteur d'une deuxième classe)

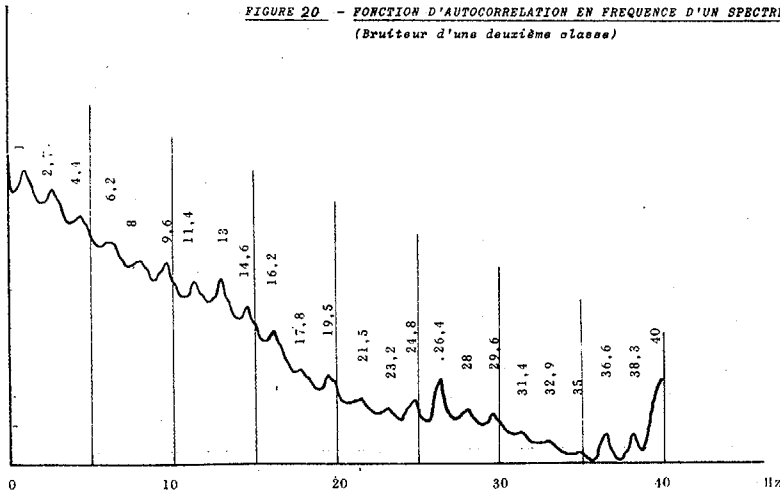
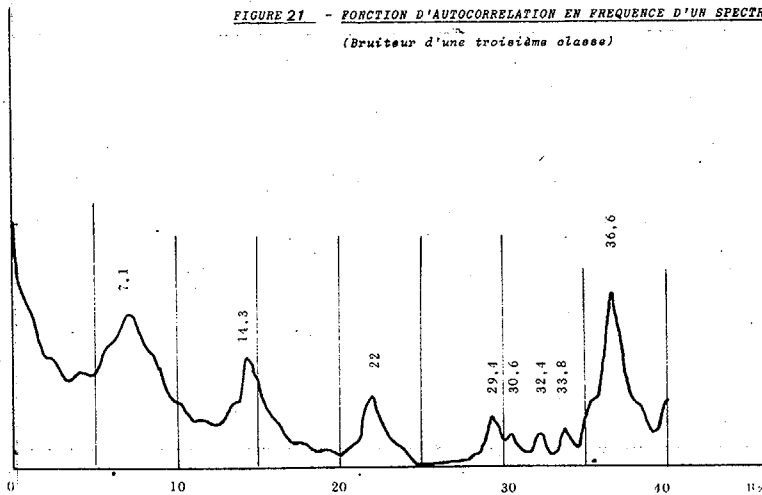


FIGURE 21 - FONCTION D'AUTOCORRELATION EN FREQUENCE D'UN SPECTRE DE RAIES.
(Bruiteur d'une troisième classe)





BIBLIOGRAPHIE

RECONNAISSANCE DES FORMES

- (1) NAGY G. - State of the Art in Pattern Recognition.
Proceedings of the IEEE - Vol. 56, N° 5, May 1968
- (2) NILLSON N.J. - Learning machines
Mac Graw Hill - 1965
- (3) SEBESTYEN G. - Decision making Processes in Pattern Recognition.
Mac Millan - New York - 1962
- (4) CASTAN et PERENNOU :
 - Optimisation d'un discriminateur
 - Etude comparative de différents discriminateurs
Colloque sur l'information médicale et les intelligences artificielles - Toulouse, 1967
 - Intelligences artificielles et systèmes auto-adaptatifs
Colloque international sur l'Informatique - Toulouse 1966
 - Reconnaissance des formes par apprentissage
Nucleus, Tome 8, N° 4, Octobre 1967
- (5) BERTRAUX D. - La reconnaissance des formes - Problèmes, méthodes et résultats.
Automatisme - Tome XII, N° 6, Juin 1967.
- (6) SIMON J.C. - La reconnaissance des formes.
Atomes N° 231, Avril 1966.
- (7) RICCARDI G. - Reconnaissance et classification de signaux
(Problème, méthodes)
Rapport CEPHAG N° 24/69
- (8) M. LASALLE - Un système de reconnaissance de formes.
Journées de Toulouse, 1967.
- (9) L.V. LAMBERT - Note sur les problèmes posés par la classification des bruiteurs.
LDSM/Brusc 1968, Marine Nationale.

OUVRAGES ET PUBLICATIONS

- (10) URICK R.J. - Principles of underwater sound for engineers.
Mac Graw Hill (1967)



-
- (11) FORTUIN L. - Survey of literature on reflection and scattering of sound waves at the sea surface.
JASA, Vol. 47, N° 5, 1970 (87 réf.)
- (12) GAZANHES C. - Diffusion des ondes acoustiques par la surface de la mer.
Bulletin d'acoustique Marine, vol. 2, N° 4, Déc. 1969
(50 réf.)
- (13) LALLEMENT B. et LEROY C. - Réflexion et diffusion des ondes acoustiques par le fond de la mer
Bulletin d'Acoustique Marine, Vol. 3, N° 3, Sept. 1970
(111 Réf.)
- (14) Marine Nationale - Aide mémoire d'acoustique sous-marine.
Laboratoire DSM du Brusac, 1968
- (15) RODERICK W.I. - CROW A.F. - Frequency Spectra of forward scattered sound from the ocean surface.
JASA Vol. 48, N° 3, 1970
- (16) BLANC-LAPIERRE A et FORTET R. - Théorie des fonctions aléatoires.
Masson et Cie., 1953
- (17) VILLE J. - Théorie et application de la notion de signal analytique
Câbles et transmissions, N° 1, 1948
- (18) PAGE C.H. - Instantaneous power spectra.
J. appl. phys., 1952, 23 (103)
- (19) PRIESTLEY M.B. - Power spectral analysis of non-stationary random processes.
J. sound vib. 1967, 6 (1)
- (20) OGURA H. - Spectral representation of a periodic non-stationary random process.
IEEE Transactions on Information Theory. Vol. IT 17, N° 2
March 1971
- (21) ESCUDIE B. - Notion de spectre instantané dans l'analyse et la synthèse des signaux.
Séminaire du GUTS (GRETSI), CEA-CENG/LETI, Mai 1970
- (22) CRAMER H. - Mathematical Methods of Statistics.
Princeton University Press - 1946
- (23) MAX J. - Les principales méthodes de traitement du signal et leurs applications aux mesures physiques
CEA/CENG, Rapport CEA R-4018 (publié aux Editions Masson)



-
- (24) BASS J. - Eléments de calcul de probabilités théorique et appliqué.
Masson et Cie., 1962.
- (25) BENDAT J.S. - Principles and applications of random noise theory.
John Wiley & Sons, New York, 1958
BENDAT J.S. - et PIERSOL A.G. - Measurement and analysis of random data
John Wiley & Sons, 1966, New York.
- (26) BONNET G. - Sur les corrélateurs utilisant la quantification des signaux.
Cours d'Eté OTAN/Marine Nationale, Grenoble, 1964
- (27) BONNET G. - Transformations des signaux aléatoires à travers les systèmes non linéaires sans mémoire.
Annales des Télécommunications, Tome 19, N° 9 - 10
Sept./Oct. 1964
- (28) STERN J., de BARBEYRAC J. et POGGI R. - Méthodes pratiques des fonctions aléatoires.
Dunod, 1967
- (29) BONNET G. - Quelques problèmes d'échantillonnage en traitement linéaire et quadratique des signaux aléatoires.
Annales des Télécommunications, Tome 24, N° 1 - 2
Janv./Fév. 1969
- (30) KENDALL M.G. & STUART - The advanced theory of statistics
C. Griffin & Cie (3 vol.), London 1966
- (31) LEGAY G. - Etude expérimentale des passages par zéro ou par un seuil de fonctions aléatoires
Annales des Télécommunications, Tome 25, N° 11 - 12,
Nov./Déc. 1970
- (32) HUGINS W.H. et YOUNG T.Y. - Représentation and analysis of signals.
The Johns Hopkins University, Department of Electrical Engineering, Baltimore 18, Maryland, Nov. 1963
- (33) RICCARDI G. - Recherche de certains critères de reconnaissance de bruiteurs.
Thèse de 3ème cycle (1971) Faculté des Sciences de Grenoble.



CONCLUSION

Alors que le problème appartient au domaine de reconnaissance des formes, volontairement, nous avons préféré l'aborder avec un oeil de physicien en recherchant et en analysant certains paramètres qui entrent en jeu.

A la réception d'un signal émis par un bruiteur, nous sommes en mesure de fournir les renseignements suivants :

- nombre et type de sources élémentaires participant à l'élaboration du signal
- spécification de chaque source pour
 - * le nombre de raies présentes
 - * les paramètres statistiques de chaque raie
 - . position moyenne
 - . écart - type des fluctuations
 - . coefficient de variation
 - * les modulations traduisant le mode de fonctionnement de la source.

Le processus de reconnaissance d'un bruiteur consiste à confronter ses propres paramètres à ceux obtenus par une étude statistique générale.

Comme toute autre méthode, ce procédé a l'inconvénient de ne pas pouvoir reconnaître un élément ne figurant pas au catalogue. Mais comment reconnaître un mot d'une langue étrangère lorsque l'on n'en a aucune notion ?