

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 20 MAI 1983

RECONNAISSANCE DES FORMES DANS LE PLAN TEMPS-FREQUENCE A
L'AIDE DE LA REPRESENTATION DE WIGNER-VILLE
PATTERN RECOGNITION IN THE TIME-FREQUENCY DOMAIN BY MEANS OF THE
WIGNER-VILLE DISTRIBUTION

BOUALEM BOUACHACHE (1)
Maître Assistant
INSA

ERIC DE BAZELAIRE (2)
Ingénieur Expert Optique
et Traitement du Signal

(1) INSA - Laboratoire de Traitement du Signal - Bt 502 - 69621 VILLEURBANNE Cedex Tël (7) 893.81.12 P.34.20
(2) ELF AQUITAINE - Département Recherche Sismique 26 avenue des Lilas - 64000 PAU. Tël (59) 68.97.22

RESUME

L'analyse des signaux dans le domaine temps-fréquence se révèle indispensable pour l'étude des phénomènes présentant une variation de leur contenu spectral en fonction du temps. Elle est en effet un bon moyen d'accès aux paramètres caractéristiques d'un signal comme sa fréquence instantanée.

Une théorie unissant formellement les différentes représentations temps-fréquence possibles a été proposée. La nécessité pour la méthode utilisée de satisfaire à des contraintes théoriques, physiques et pratiques conduit à choisir la RWV (représentation de WIGNER-VILLE).

Un simulateur interactif permettant de calculer et de visualiser la RWV de tout signal donné a été réalisé. Une étude analytique complémentaire a expliqué le comportement observé dans les différents cas possibles.

L'emploi du signal analytique $Z(t)$ associé à l'observable réel $S(t)$ a permis d'éliminer les artefacts créés par la méthode de base. Par ailleurs, l'étude du comportement de la RWV de signaux bruités montre que ses caractéristiques dans le plan temps-fréquence sont peu sensibles au bruit.

La RWV fait apparaître une concentration énergétique dans le plan temps-fréquence autour de la loi de fréquence instantanée du signal étudié, d'autant meilleure que le produit BT (bande-durée) est élevé. Le calcul du moment d'ordre un de cette RWV permet d'accéder directement à cette loi. Une technique de reconnaissance des formes utilisant les propriétés précédentes est alors proposée.

Nous présentons les résultats obtenus dans le cas de l'estimation des paramètres d'absorption du sous sol en prospection sismique, puis une étude en cours ayant pour but la détection des bulles circulant dans le sang par des techniques de reconnaissance des formes et filtrage numérique dans le domaine temps-fréquence.

SUMMARY

To study phenomena which have a variation of their spectral content versus time, we have built an interactive simulator of time-frequency analysis using the WIGNER-VILLE Distribution (WVD) able to analyse any given signal, after a compared study of the most usual Time-Frequency Distributions.

Among these distributions, the WVD is the most interesting tool for time-frequency analysis in the sense that it has the least amount of global spread around its centre of gravity. So, this tool has the best resolution for an estimation of the time-frequency laws of "time-varying signal".

We present here the main results of a very detailed study (made possible by this simulator) on the WVD behaviour in the case of any modulated signal given. In any case, the observed behaviour is explained analytically. The importance of considering the analytical signal associated with a real observation is shown and we present a study on the noise influence.

The WVD is used to analyse geophysical recordings for the evaluation of the absorption of the earth. We then propose a method for pattern recognition in the time-frequency domain, taking account of the WVD properties.



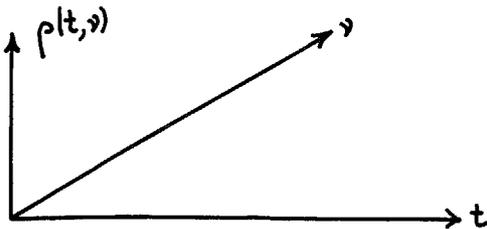
I - INTRODUCTION A L'ANALYSE TEMPS-FREQUENCE

1.1 Nécessité d'une Représentation Conjointe Temps-Fréquence (RCTF)

Un signal est généré par toute modification d'une grandeur observée en un point d'un système étudié. Ce signal véhicule une certaine information relative à l'état du système. A un état donné, correspond un signal bien particulier. A l'ensemble des états du système, correspond un ensemble de signaux possibles. Se pose alors le problème de la Représentation de ce signal et donc du choix de la base de projection (1) Au choix d'une base, correspond le choix d'une Représentation. Deux représentations sont classiquement utilisées en traitement du signal :

- la Représentation Temporelle associée à la base de projection "t"
- la Représentation Fréquentielle associée à la base de projection "v".

Cependant, ces représentations monodimensionnelles ne permettent pas toujours la bonne visualisation du phénomène que l'on cherche à étudier, à fortiori quand celui-ci présente une variation de son contenu spectral en fonction du temps. La RCTF, représentation énergétique associée à une base à deux dimensions, en tenant compte conjointement des 2 variables temps et fréquence, permet de répartir l'évolution énergétique du phénomène observé dans un plan (t,v) et fournit donc une solution à ce problème (1)(7).



Les travaux de L. COHEN (10) et B. ESCUDIE (1) ont permis de trouver une formulation générale de la RCTF, (notée rho(t,v) permettant par choix d'une fonction f(n,tau) de retrouver toutes les autres (voir définition ci-dessous).

1.2 Propriétés générales de la RCTF (1)(9).

1.2.1. Définition (10)(1)

$$\rho(t,v) = \int_{\mathbb{R}^3} e^{2i\pi n(u-t)} \cdot f(n,\tau) \cdot Z(u+\frac{\tau}{2}) \cdot Z^*(u-\frac{\tau}{2}) \cdot e^{-2i\pi v\tau} \cdot dndud\tau$$

La fonction f(n,tau) définit le mode d'observation considéré; elle est choisie parmi un ensemble de fonctions qui vérifient les propriétés de symétrie hermitique et de borne supérieure égale à f(0,0)=1. Z(t) est le signal analytique associé à l'observable réel S(t), obtenu à l'aide d'une Transformée de Hilbert.

La RCTF est liée par une Transformée de Fourier à 2 dimensions à la fonction d'ambiguïté X_Z^* du signal.

$$\rho(t,v) \underset{v}{\overset{t}{\rightleftharpoons}} \int_{\theta} f(\theta,\phi) \cdot X_Z^*(\phi,\theta) \text{ avec}$$

$$X_Z^*(\phi,\theta) = \int_{\mathbb{R}} Z(u+\frac{\theta}{2}) \cdot Z^*(u-\frac{\theta}{2}) \cdot e^{2i\pi\phi u} \cdot du$$

1.2.2. Positivité de la RCTF

Dans le cas général, rho(t,v) est une grandeur réelle. Il serait cependant confortable pour l'esprit qu'elle soit positive, afin de lui attribuer la signification physique de densité énergétique dans le plan temps-fréquence. On montre alors qu'une condition nécessaire et suffisante de positivité de rho(t,v) est que f(n,tau) soit une fonction d'Ambiguïté (4). Cela conduit à 2 formes possibles de rho(t,v) :

- la RCTF de Kay (sonagramme) qui est une détection quadratique d'enveloppe.
- la RCTF de Flanagan-Pimonov (Moving Window Method) qui consiste en une analyse spectrale d'une tranche pondérée de signal. Leur principe est le même : l'une effectue une analyse par tranche évolutive en temps, l'autre en fréquence.

1.2.3. La RCTF et les paramètres caractéristiques d'un signal modulé

Le calcul des moments d'ordre un de rho(t,v) permet d'accéder aux paramètres caractéristiques d'un signal modulé tels que sa fréquence instantanée v_i(t) et son retard de groupe tau_g(v) si f(n,tau) vérifie les conditions suivantes (1)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial n} \Big|_{0,0} = \frac{\partial f}{\partial \tau} \Big|_{0,0} = 0 \\ f(n,0) = cte \\ f(0,\tau) = cte \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} M_{\rho}^1(t) &= v_i(t) \\ M_{\rho}^1(v) &= \tau_g(v) \end{aligned}$$

Malheureusement, ces propriétés sont incompatibles avec celle de positivité de rho(t,v)

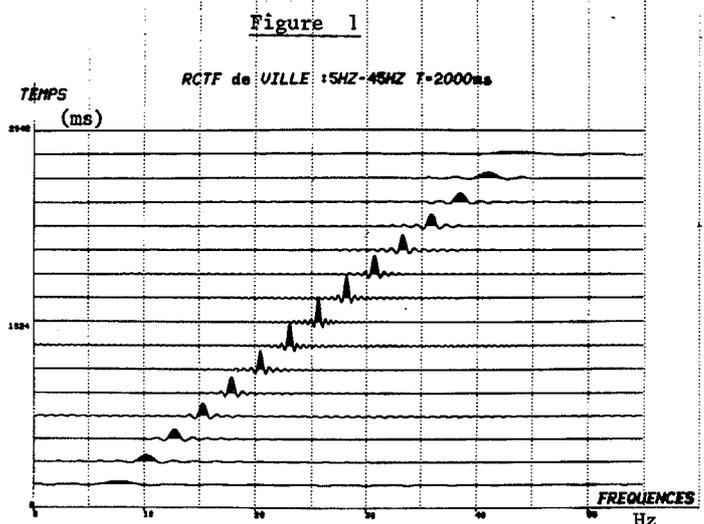
$$\rho(t,v) \geq 0 \iff \begin{cases} M_{\rho}^1(t) \neq v_i(t) \\ M_{\rho}^1(v) \neq \tau_g(v) \end{cases}$$

Ces propriétés ne sont donc pas vérifiées pour les RCTF de Kay (Sonagramme) et de Flanagan-Pimonov (Moving Window Method). Par contre, elles sont vérifiées par les RCTF de Born-Jordan, de Rihaczek et de Wigner-Ville (1)(9).

1.3 Choix d'une RCTF (9)

Nous avons effectué une étude comparative entre les RCTF les plus utilisées. Pour cela, nous avons dans un premier temps utilisé un signal test, en l'occurrence un signal modulé linéairement en fréquence ; celui-ci est utilisé en sismique comme signal source émis par un vibreur, dans une bande fréquentielle allant de 10 Hz à 250 Hz pour la sismique haute résolution (6)(9)

1.3.1. Comparaison entre l'analyse RWV et l'analyse "Rihaczek"

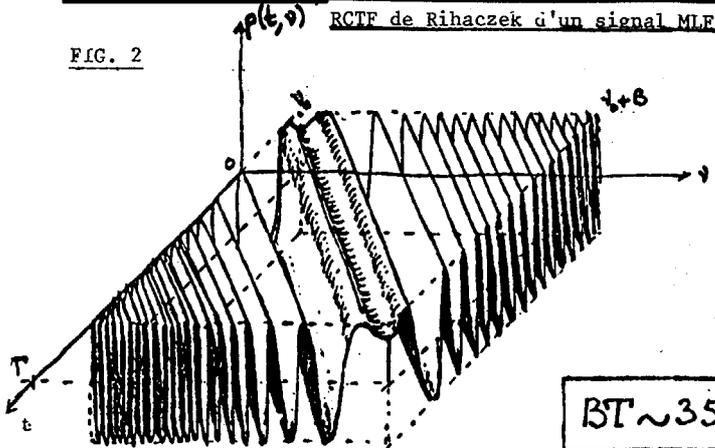


RECONNAISSANCE DES FORMES DANS LE PLAN TEMPS-FREQUENCE A L'AIDE DE LA REPRESENTATION DE WIGNER-VILLE

Boualem BOUACHACHE

Eric DE BAZELAIRE

FIG. 2



La RC de Rihaczek ne fait pas apparaître directement la fréquence instantanée du signal, mais présente de nombreuses oscillations qui rendent très difficile la lecture d'une Représentation. En effet, dans le cas du signal test, on a montré que le comportement de la Représentation de Rihaczek est décrit par une fonction de FRESNEL (pour les tranches $\rho_z(u)$) (2). Par contre, la RWV fait directement apparaître une arête le long de la fréquence instantanée, d'autant plus "pincée" que le produit bande.durée du signal est grand ($BT > 10$), comme prévu par le calcul (6)(8). On constate sur les figures 1 et 2 que l'analyse RWV d'un signal modulé en fréquence présente une concentration d'Amplitude autour de la loi de modulation; l'analyse Rihaczek n'en présente une qu'après intégration c'est-à-dire en énergie : la phase est perdue.

1.3.2. Comparaison entre l'analyse RWV et l'analyse "Moving Window Method"

La méthode MWM, définie par J.L. FLANAGAN et L. PIMONOV correspond à la façon la plus naturelle et la plus intuitive d'analyser un signal dans le plan temps fréquence : elle calcule la densité spectrale d'une tranche pondérée de signal. Cela nécessite donc la définition a priori d'une largeur de tranche d'analyse. L'étude comparative effectuée dans la référence 9 (page 65 à 71) montre clairement les avantages de la RWV: pas de dépendance d'une largeur d'analyse à choisir et de plus, bonne caractérisation de la loi temps-fréquence par le grand axe de l'ellipse correspondant au lieu d'isovaleurs de $\rho(t, \nu)$, ce qui n'est pas le cas pour l'analyse "Moving Window Method", celle-ci introduisant un biais systématique lié au choix de la largeur de tranche d'analyse (8).

La RWV semblant s'imposer de par ses propriétés comme un modèle optimal d'Analyse Temps-Fréquence, il devient alors nécessaire d'en effectuer son étude complète.

II - LA RWV : ETUDE ANALYTIQUE ET NUMERIQUE DE SIGNAUX MODULES

2.1 Propriétés de la RWV (5)(9)

2.1.1. Définition

Si on fait $f(n, \tau) = 1$ dans la définition de la RCTF, on obtient la définition de la RWV.

$$\rho_{RWV}(t, \nu) = \int_R Z(t + \tau/2) \cdot Z^*(t - \tau/2) \cdot e^{-2i\pi\nu\tau} \cdot dt$$

La RWV est égale à la Transformée de Fourier bidimensionnelle de la fonction d'Ambiguïté du signal

$$\rho_{RWV}(t, \nu) \xleftrightarrow[\theta]{t} \rho_Z^*(\phi, \theta)$$

2.1.2 Lien entre la RWV et la RCTF

Notons $\rho_z(t, \nu)$ la RCTF correspondant au choix de la fonction $f(n, \tau)$, et soit $F(t', \nu')$ la Transformée de Fourier bidimensionnelle de $f(n, \tau)$, il vient :

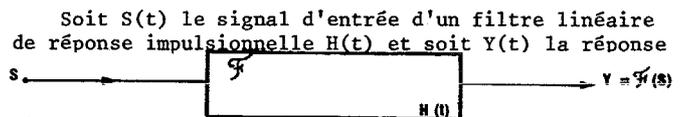
$$\rho_F(t, \nu) = \left\{ F(t', \nu') \underset{(t', \nu')}{*} \rho_{WV}(t', \nu') \right\}_{(t, \nu)}$$

Le choix de $f(n, \tau) = 1$ explique que la définition due à J. VILLE (11) permette, par une opération linéaire (convolution) de trouver toutes les autres représentations obtenues par choix arbitraire de $f(n, \tau)$ dans la classe $\{S\}$ (1).

2.1.3. Propriétés de la RWV

- $\rho_{WV}(t, \nu) \in \mathbb{R}$
- puissance instantanée du signal : $\int_R \rho(t, \nu) \cdot d\nu = |Z(t)|^2$
- densité spectrale du signal : $\int_R \rho(t, \nu) \cdot dt = |z(\nu)|^2$
- énergie du signal : $\int_{R^2} \rho(t, \nu) \cdot dt \cdot d\nu = E_Z$
- les moments d'ordre un de la RWV, selon t et ν , fournissent respectivement $\nu_i(t)$, fréquence instantanée du signal et $\tau_g(\nu)$, retard de groupe du signal.

2.1.4. Transformation de la RWV par filtrage linéaire



Si $\rho_S(t, \nu)$ désigne la RWV du signal $S(t)$, on a :

$$\rho_Y(t, \nu) = \left[\rho_S(t, \nu) \underset{(t)}{*} \rho_H(t, \nu) \right]_{(t, \nu)}$$

$\underset{(t)}{*}$ désigne l'opération de convolution portant sur la variable t . Cette relation qu'on démontre aisément par le calcul analytique a été vérifiée à l'aide de notre simulateur d'analyse temps-fréquence dès 1978 (3).

2.1.5. Synthèse d'un signal à partir de sa RWV

Soit $\rho_S(t, \nu)$ la RWV d'un signal $S(t)$, et soit $R(t, \theta)$ la Transformée de Fourier de $\rho_S(t, \nu)$.

$$\rho(t, \nu) \xleftrightarrow[\theta]{\nu} R(t, \theta)$$

On montre que : (9)

$$\begin{cases} A(t) = \frac{|R(t_0, t_0 - t)|}{(R(t_0, 0))^{1/2}} \\ \phi(t) = \phi(t_0) - \text{Arg } R(t_0, t_0 - t) \end{cases}$$

Ces deux expressions permettent de retrouver le signal temporel $S(t) = A(t) \cdot \cos \phi(t)$. Ainsi, la RWV contient et restitue toute l'information véhiculée par le signal. Il n'y a donc pas de perte d'information.

2.2 Etude temps-fréquence de signaux modulés

2.2.1. Signaux utilisés

Les signaux utilisés sont des signaux asymptotiques d'énergie finie, centrés $S(\nu=0) = 0$ et causaux. Ils s'écrivent :

$$S(t) = A(t) \cdot \cos \phi(t)$$

Les signaux vérifient les conditions de BEDROSIAN permettant l'écriture exponentielle du signal analytique $Z(t)$ associé à l'observable réel $S(t)$

$$Z(t) = A(t) \cdot e^{i\phi(t)}$$

$$\nu_i(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\phi}{dt}(t)$$

La fréquence instantanée du signal $\nu_i(t)$ varie lentement vis à vis des variations de l'amplitude instantanée $A(t)$ et a donc un sens physique : elle définit la loi de mo-



dulation en fréquence du signal.
Le principe de calcul de la RWV a été présenté au 7è Gretszi (5). Nous n'y reviendrons pas.

2.2.2 Importance du signal analytique

G. BONNET et G. JOURDAIN furent amenés à définir la RCTF suivante, qu'on notera RBJ (12) :

$$\rho_{BJ}(t, \omega) = \int_R S(t-\tau/2) \cdot S(t+\tau/2) \cdot e^{-2i\pi\omega\tau} \cdot d\tau$$

S(t) représente le signal réel observable et non le signal analytique. Un calcul utilisant le principe de la phase stationnaire montre que la RBJ d'un signal S(t) est la somme de sa RWV et de termes d'interaction (9 p 59). Ils existent dans une certaine bande fréquentielle fonction du temps t. (voir figures 3 et 4).

Considérons par exemple le signal S(t) de caractéristiques suivantes :

- . S(t) est un signal modulé hyperboliquement en fréquence.
- . domaine spectral : 5 Hz - 45 Hz - B = 40 Hz.
- . domaine temporel : 0ms - 2048ms - T = 2048ms.

$$S(t) = \prod_T(t-T/2) \cdot \cos \left\{ \frac{2\pi\omega_0}{a} \cdot \text{Log} |1+at| \right\}$$

$$u_i(t) = \frac{\omega_0}{1+at} \quad ; \quad B = \frac{\omega_0 \cdot a \cdot T}{1+aT}$$

La RBJ de ce signal permet de retrouver un motif caractéristique de la loi de modulation en fréquence du signal et un autre motif très "hachuré" qui recouvre partiellement le précédent. Le résultat concorde avec le calcul analytique (9 p 60). La figure suivante représente la RWV de ce même signal. On ne retrouve que le motif qui nous intéresse, celui qui caractérise la loi de modulation en fréquence. Ceci montre toute l'importance du signal analytique Z(t) associé à S(t). La RWV offre donc plus d'intérêt que la RBJ en raison des "artefacts" supplémentaires qui sont créés par cette dernière. (figures 3 et 4).

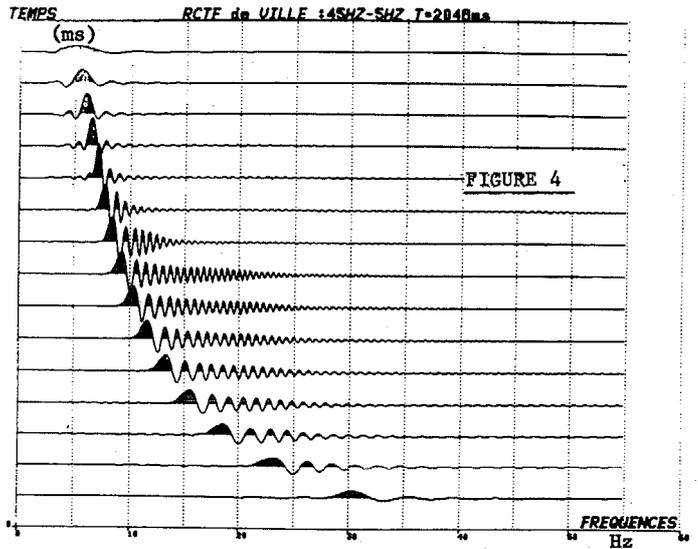


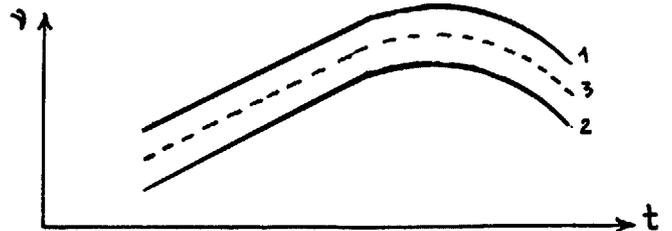
FIGURE 4

2.2.4. RWV de signaux multicomposantes (9)

Un tel signal peut être caractérisé comme étant la somme de plusieurs signaux monocomposantes. Dans le cas de tels signaux, la RWV se comporte différemment suivant que les lois de modulation en fréquence des composantes ont localement des pentes identiques ou non.

. Si ces pentes ne sont pas égales, (non parallélisme dans le plan (t, ω)), l'analyse RWV permet de séparer dans le plan temps-fréquence les caractéristiques de chaque composante.

. Si les pentes sont égales, (parallélisme dans le plan (t, ω)), cette analyse fait apparaître des composantes parasites propres à la méthode qui peuvent induire en erreur lors de la lecture dans le plan temps-fréquence. Cependant, la structure même de ces parasites (apparition entre les deux lois réelles 1 et 2 d'une loi fantôme 3 équidistante) peut être mise à profit pour l'interprétation de l'analyse temps-fréquence (9 p 55 à 58).



La présence de la loi fantôme 3, identifiable par sa structure entre les lois 1 et 2 (le lieu des maxima possède des changements de signe) indique la présence de 2 signaux modulés en fréquence de lois semblables.

2.2.5. Influence du bruit sur la RWV d'un signal

Nous étudions les variations de la RWV d'un signal vibroseis noyé dans du bruit, en fonction du rapport signal sur bruit. S(t) est un signal modulé linéairement en fréquence et de caractéristiques suivantes :

- . domaine spectral : 5 Hz - 35 Hz . B = 30 Hz
- . domaine temporel : 0 ms - 2048 ms. T = 2048 ms.

B(t) est une réalisation particulière d'un bruit aléatoire gaussien blanc dans la même bande. Nous analysons donc : Y(t) = S(t) + B(t).

B(t) est centré, de variance σ². Nous observons que la RWV réagit très bien au bruit grâce à la corrélation latérale visuelle. Cela montre l'importance d'un tel analyseur temps-fréquence RWV car dans le cas des signaux bruités, les méthodes classiques d'analyse telles que observation des passages à zéro sont inaptes à estimer des lois de modulation en fréquence (9 p63,64)(fig.5)

2.2.3. RWV de signaux mono composantes (9)

On appelle signal monocomposante tout signal dont la loi de fréquence instantanée ω = ω_i(t) est inversible, c'est-à-dire dont la loi t = t_i⁻¹(ω) est non multiforme. Celle-ci représente alors la loi de retard de groupe du signal. Dans ce cas simple, la RWV met en évidence la loi de modulation en fréquence de ce signal dans le plan temps-fréquence par simple corrélation visuelle du lieu des maxima d'amplitude (figures 2 et 4).

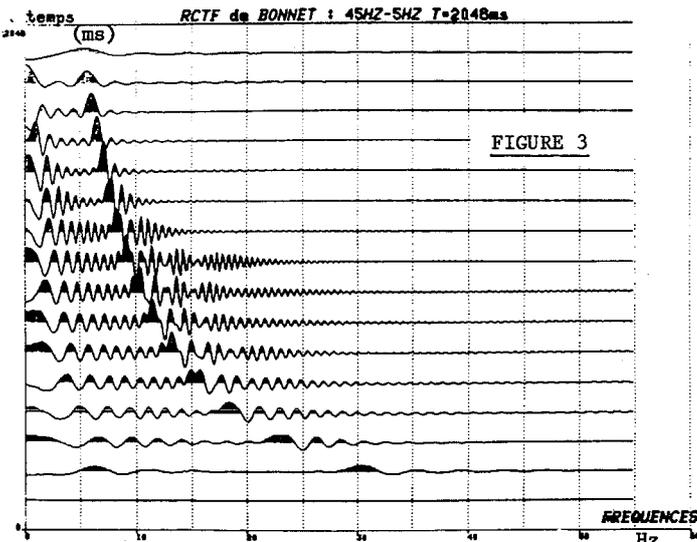
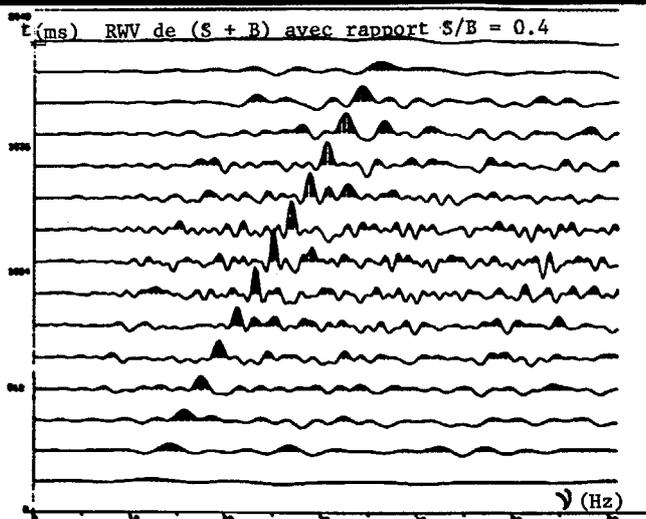


FIGURE 3



III - APPLICATION DE L'ANALYSE TEMPS-FREQUENCE EN GÉOPHYSIQUE (9)

La sismique réflexion consiste à envoyer dans le sol des ondes élastiques qui s'y propagent et se réfléchissent sur les dioptries qui séparent les couches du milieu d'impédances acoustiques différentes. Le souci constant d'améliorer la qualité de la sismique réflexion conduit à tenter de résoudre le problème dit de "l'inversion directe des sismogrammes" : celui-ci consiste, par l'analyse et le traitement des échos captés en surface, à reconstituer directement la répartition d'impédances du milieu dans lequel ils se sont propagés. Cela nécessite la maîtrise des amplitudes en plus de celle des temps. Nous avons montré que, pour obtenir une précision correcte, le modèle physique devrait tenir compte des phénomènes d'absorption et de dispersion des terrains lors de la propagation de l'onde sismique. Le modèle choisi est viscoélastique avec mémoire. L'absorption est alors caractérisée par deux paramètres de relaxation τ_0 et τ_1 . Nous avons effectué l'analyse temps-fréquence RWV de l'évolution d'un signal Vibroseis en fonction de sa propagation.

Le signal émis est modulé linéairement en fréquence, de durée $T=2$ secondes, de bande spectrale 10Hz-60Hz et échantillonné toutes les 4 ms.

L'analyse temps-fréquence RWV des réponses à différentes profondeurs (9 p 88 à 96) nous a permis de nous guider sur la voie à suivre pour estimer au mieux ces paramètres. Cette analyse a montré que la dispersion en fréquence créée par le filtre-terrain est tout à fait négligeable. En effet, la loi de fréquence instantanée du signal émis en surface (caractéristique de sa loi de modulation) est très peu altérée lors de la propagation dans le sous-sol.

La seule modification importante créée par le filtrage terrain concerne l'amplitude. La RWV a ainsi permis de mettre en évidence des lois empiriques pouvant être utilisées en représentation temporelle ou en représentation fréquentielle (6). Cela nous a conduit à effectuer l'étude approfondie du modèle viscoélastique à mémoire en représentation fréquence, et à mettre au point un procédé d'estimation automatique des paramètres d'absorption du sous-sol τ_0 et τ_1 (9).

IV - RECONNAISSANCE DE FORMES DANS LE PLAN TEMPS-FREQUENCE

Dans un problème de détection automatique d'un signal du type "asymptotique" noyé dans un bruit, se pose le problème de choisir une grandeur caractéristique qui permette de reconnaître à coup sûr le phénomène attendu. Dans un certain nombre de cas, cette caractéristique sera la loi de modulation en fréquence du phé-

nomène étudié ; le problème se pose donc de reconnaître cette loi. Plusieurs possibilités se présentent alors :

i) Calcul direct de $\psi_i(t)$

Cette méthode est, hélas, inopérante si le signal à détecter est bruité, ou s'il est multicomposante.

ii) Calcul de $\psi_i(t)$ comme Moment d'ordre un de la RWV

Bien que cette méthode soit plus universelle que la précédente, elle ne peut être employée que si les signaux étudiés sont monocomposantes.

iii) La solution que nous proposons consiste à travailler sur la totalité de la RWV du signal, et d'utiliser la propriété de concentration de l'énergie autour de la loi de fréquence instantanée. Il suffit pour cela de regarder la RWV comme une image bidimensionnelle dans laquelle on essaie de reconnaître des formes. Toute méthode de reconnaissance de formes dans un espace à deux dimensions y est donc applicable. Parmi celles-ci, une méthode très simple est la détection de contours. Elle n'est utilisable que quand le rapport signal sur bruit est suffisant. Dans le cas contraire, il est nécessaire de recourir aux méthodes d'intercorrélation bidimensionnelles.

Pour illustrer ce cas, considérons le signal VFM utilisé en radar et défini par $S(t)=S_1(t)+S_2(t)$, somme de 2 signaux modulés linéairement en fréquence, de même durée et de même bande, mais de pentes de modulation opposées (figure 6). Sur la RWV de ce signal (figure 7) on retrouve aisément par corrélation visuelle les caractéristiques temps-fréquence du signal. La RWV offre ainsi la possibilité de retrouver et de séparer les différentes composantes du signal. Si on applique un seuil à la RWV, on définit ainsi une forme en croix caractéristique de notre signal, qui peut donc être utilisé comme référence pour la reconnaissance d'un tel signal (fig.8).

Un travail en cours mené au Laboratoire de Traitement du Signal de l'INSA consiste à utiliser ces méthodes pour détecter et comptabiliser des signaux de bulles circulantes dans le sang (13).

CONCLUSION

Introduite en théorie des communications pour des raisons théoriques, la RWV apparaît comme étant un moyen très commode d'analyse des signaux dans le plan temps-fréquence. L'étude comparative avec d'autres RCTF indique que la RWV est le meilleur outil d'analyse temps-fréquence. Il permet une bonne visualisation de la loi temps-fréquence et est peu sensible au bruit. Il ne dépend pas d'une quelconque largeur d'analyse à définir a priori, car il prend en compte la totalité du signal à analyser. La RWV ayant par ailleurs la propriété de réversibilité (entre $S(t)$ et $\rho_S(t,u)$) permet d'effectuer un filtrage dans le domaine temps-fréquence. Sa mise en oeuvre est en outre relativement aisée. Enfin, des méthodes de traitement optique du signal permettraient d'envisager dans ce domaine des traitements en temps réel.

REFERENCES

- 1 - B. ESCUDIE, "Représentation en temps et fréquence des signaux d'énergie finie", Annales des Télécom, T 35, n°3-4, 1979.
- 2 - B. BOUACHACHE, P. FLANDRIN, TFE, ICPI, LYON, 1978.
- 3 - B. BOUACHACHE, "Mise au point d'un simulateur d'analyse temps-fréquence Wigner-Ville", publication Elf-Aquitaine, n°373, PAU, 1978.
- 4 - B. BOUACHACHE et al, "Sur une c.n.s. de positivité des Représentations Temps-Fréquence", C.R. Acad. Sciences, t. 288, série A, p.307-309, 1979.
- 5 - B. BOUACHACHE et al, "Représentation Temps-Fréquence et signaux sismiques", 7è colloque GRETSI,



RECONNAISSANCE DES FORMES DANS LE PLAN TEMPS-FREQUENCE A L'AIDE
DE LA REPRESENTATION DE WIGNER-VILLE

Boualem BOUACHACHE

Eric DE BAZELAIRE

p 121, Nice, 1979.

- 6 - B. BOUACHACHE, "Représentation Temps-Fréquence", mémoire de DEA, CEPHAG, INPG, Grenoble, 1979.
- 7 - B. BOUACHACHE, "Note sur la Représentation des Signaux", publication Elf-Aquitaine N°135, Pau, 1981.
- 8 - B. BOUACHACHE, P. FLANDRIN, "Wigner-Ville Analysis of Time-Varying Signals", ICASSP, IEEE, Paris 1982.
- 9 - B. BOUACHACHE, "Représentation Temps-Fréquence-Application à la mesure de l'absorption du sous-sol". Thèse Docteur-Ingénieur, INPG, CEPHAG, Grenoble, 1982.
- 10 - L. COHEN, "Generalized phase-space distribution functions" J. Math. Phys. 7, pp. 781-786, 1966.
- 11 - J. VILLE, "Sur la notion de signal analytique", Câbles et Transmissions, tome 2, N°1, p.61-74, 1948.
- 12 - G. BONNET, G. JOURDAIN, "Extension de la notion de fonction d'Ambiguïté, GRETSI, N°67, p 10-48, Nice, 1967.
- 13 - R. GOUTTE et al, "Detection de bulles stationnaires dans les tissus biologiques", Colloque Génie Biomédical, Lyon, 1979.

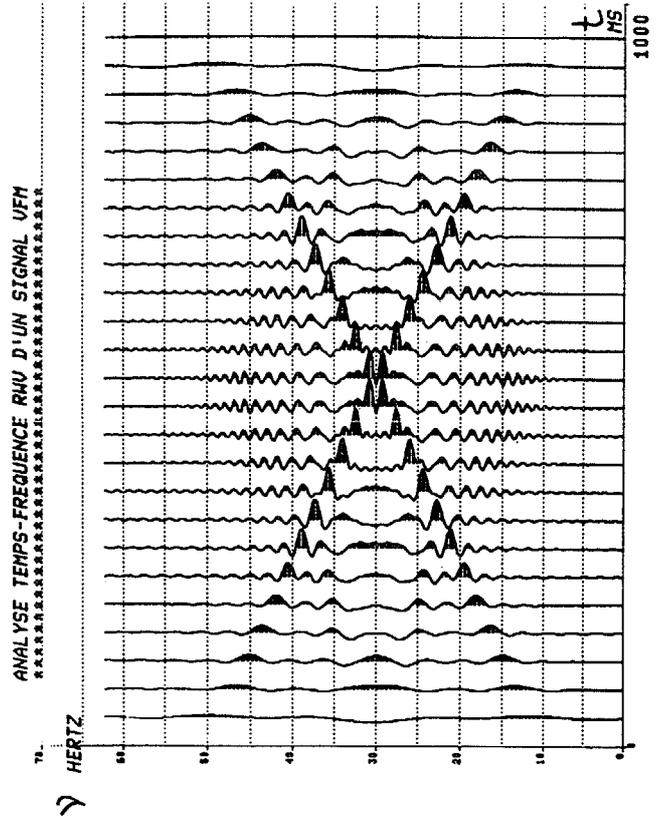


Figure 7

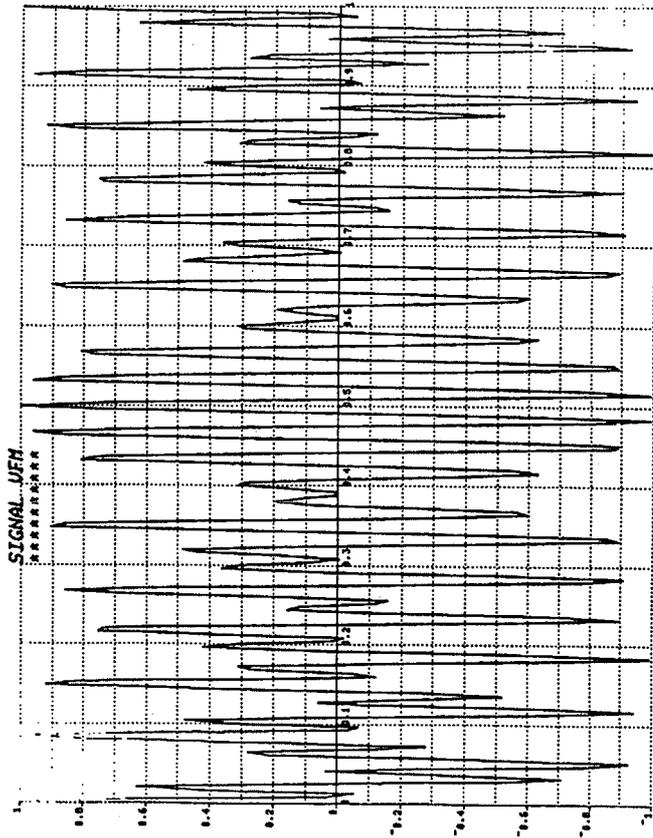


Figure 6

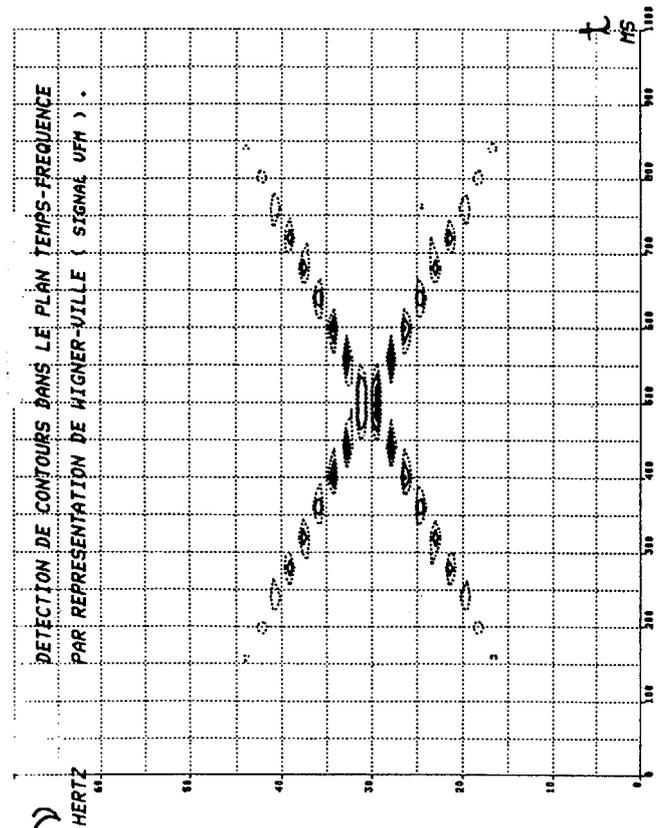


Figure 8

SIGNAL COMPOSE DE DEUX MODULATIONS LINEAIRES DE FREQUENCE DE PENTES CROISEES.