

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

665



NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

ELIMINATION DE REFLEXIONS PARASITES PAR LE CEPSTRE D'ENERGIE
APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES
ELIMINATION OF PARASITICAL REFLECTIONS BY THE POWER CEPSTRUM
APPLICATION TO THE STUDY OF ENERGY'S EXCHANGE BETWEEN WALLS

JC. BALLUET (*) - M. GRABISCH (*) - A. CHAUMETTE (**)

(*) CEPHAG BP 46 - 38420 ST-MARTIN d'HERES - (**) CSTB 22, rue Joseph Fourier
Equipe de Recherche associée au CNRS (ERA 93) 38420 ST-MARTIN-D'HERES

RESUME

L'opérateur CEPSTRE d'énergie est adapté à l'analyse d'un signal à structure d'échos. Il permet d'estimer dans une situation faiblement bruitée les écarts de temps séparant les échos. Nous présentons dans cet article une nouvelle méthode de traitement utilisant le CEPSTRE d'énergie et permettant de comparer en amplitude deux signaux de même forme à partir d'enregistrements comportant des réflexions parasites.

Cette méthode est appliquée à l'étude de l'échange d'énergie vibratoire entre parois. La mesure de cet échange est faite en comparant les ondes de flexions engendrées sur les parois à partir d'un choc. Les difficultés proviennent des réflexions dues aux bords et à la jonction qui viennent se superposer à l'onde incidente et à l'onde transmise. Le CEPSTRE d'énergie permet d'une part de mettre en évidence ces réflexions, et d'autre part d'obtenir une estimation du facteur d'homothétie entre signal émis et signal transmis.

Nous présentons les premiers résultats fournis par cette méthode sur des enregistrements obtenus par le CSTB dans les expériences réalisées avec des plaques métalliques

SUMMARY

The Power Cepstrum operator is suitable for analysis of an echoic structure. It permits to estimate, in low noisy conditions, the time interval between two echoes. We present in this paper, a new method of processing using the power cepstrum, and allowing the level comparison of two same-shaped signals coming from two recordings having parasitical reflections.

This method is applied to the study of exchange of vibratory energy between walls.

The measurement of this exchange is detained by comparison of deformation waves generated on two walls by a stock. Difficulties are coming from reflections at the edges and joining which overlapp incident and transmitted waves.

Power Cepstrum permits, on the one hand, to point out the echoic structure, and on the other hand, to obtain an estimation of the homothetical factor between incident and transmitted signals.

We present the first results obtained by this method with recordings made by the CSTB in experiments realized with metallic plates.



ELIMINATION DE REFLEXIONS PARASITES PAR LE CEPSTRE D'ENERGIE
 APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES
 ELIMINATION OF PARASITICAL REFLECTIONS BY THE POWER CEPSTRUM
 APPLICATION TO THE STUDY OF ENERGY'S EXCHANGE BETWEEN WALLS

1-LE CEPSTRE D'ENERGIE : définition, principales propriétés, mise en oeuvre pratique

1-1 Définition de la transformée de FOURIER

généralisée d'un signal échantillonné
 Soit $f(t)$ un signal à temps continu engendrant le signal échantillonné $f_n = f(n\Delta T)$ (ΔT période d'échantillonnage), soit ρ un réel positif, nous considérons que par définition :

$$(1) g_p(v) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f_n \rho^{-n} e^{-2j\pi n \Delta T v}$$

est la transformée de FOURIER généralisée associée au signal échantillonné f_n .
 Lorsque $\rho = 1$ nous retrouvons la définition classique

Lorsque $g_p(v)$ existe, elle est périodique (période $\frac{1}{\Delta T}$).

Son domaine de convergence est en général un ouvert pour ρ

$$P_1 < \rho < P_2$$

Les échantillons f_n peuvent être calculés à partir de $g_p(v)$ par la relation

$$(2) f_n = \rho^n \Delta T \int_{P_1}^{P_2} g_p(v) e^{2j\pi n \Delta T v} dv \quad \forall v_1$$

1-2 Définition de l'opérateur CEPSTRE d'énergie

Soit $[f_n]$ une suite d'échantillons de terme courant f et $g_p(v)$ sa transformée de FOURIER généralisée, soit $\text{LOG}(|g_p(v)|)$ le logarithme népérien du module de $g_p(v)$. Par définition la suite $[f_{n,\rho}^0]$ telle que

$$(3) f_{n,\rho}^0 = \rho^n \Delta T \int_{P_1}^{P_2} \text{LOG}(|g_p(v)|) e^{2j\pi n \Delta T v} dv \quad \forall v_1$$

sera appelée suite cepstre d'énergie associée au doublet $([f_n], \rho)$ et nous noterons symboliquement

$$CE([f_n], \rho) = [f_{n,\rho}^0]$$

Remarques : a) La formule (3) s'inverse pour donner

$$\text{LOG}(|g_p(v)|) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f_{n,\rho}^0 \rho^{-n} e^{-2j\pi n \Delta T v}$$

b) Le calcul pratique de (3) nécessite que $\text{LOG}(|g_p(v)|)$ reste fini et nous nous limiterons donc aux valeurs de ρ telles que

$$|g_p(v)| \neq 0 \quad \forall v$$

1-3 Principales propriétés

*La suite CEPSTRE d'énergie d'un produit de convolution est égale à la somme des suites CEPSTRES d'énergie de chacune des suites.

*Une homothétie pour la suite source ne modifie que le terme d'indice zéro des suites CEPSTRES d'énergie correspondantes.

soit

$$[f_n] \text{ et } [g_n] = [\lambda f_n]$$

alors

$$(4) \begin{cases} n \neq 0 & g_{m,\rho}^0 = f_{m,\rho}^0 \\ n = 0 & g_{0,\rho}^0 = \text{LOG}(|\lambda|) + f_{0,\rho}^0 \end{cases}$$

*Une translation de la suite source ne peut modifier que le terme d'indice zéro des suites CEPSTRES d'énergie correspondantes soit

$$[f_n] \text{ et } [g_n] = [f_{n-m}]$$

alors

$$(5) \begin{cases} n \neq 0 & f_{m,\rho}^0 = g_{m,\rho}^0 \\ n = 0 & f_{0,\rho}^0 = m \text{LOG}(\rho) + g_{0,\rho}^0 \end{cases}$$

*La suite CEPSTRE d'énergie d'une suite à valeurs réelles est une suite à valeurs réelles et

$$(6) \frac{f_{m,\rho}^0}{\rho^m} = \frac{f_{-m,\rho}^0}{\rho^{-m}}$$

la suite $[\frac{f_{n,\rho}^0}{\rho^n}]$ est donc paire

1-4 Algorithme de calcul pratique des suites CEPSTRES d'énergie

1-4-1 Rappels

La transformée de FOURIER discrète (TFD) est l'opérateur qui fait correspondre à une suite $[f_n]$ de N nombres réels ou complexes (n variant de 0 à $N-1$) une suite $[g_m]$ de N nombres (m variant de 0 à $N-1$) par la relation

$$(7) g_m = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{j2\pi \frac{m \cdot n}{N}}$$

Par convention pour $\delta = -1$ la transformée sera dénommée directe

$\delta = 1$ la transformée sera dénommée inverse

Nous avons considéré les notations suivantes $[g_m] = \text{TFD}(N) [f_n]$ TFD directe de dimension N et

$[f_n] = \overline{\text{TFD}}(N) [g_m]$ TFD inverse de dimension N

Les opérateurs TFD et $\overline{\text{TFD}}$ sont inversibles

$$(8) \overline{\text{TFD}}(N) [\text{TFD}(N) [f_n]] = N [f_n]$$

Pour $N = 2^K$ il existe un algorithme de calcul rapide de la TFD, il est appelé transformée de FOURIER rapide : TFR (FFT en anglais).

1-4-2 Algorithme de calcul des suites CEPSTRES

Les relations (9) et (10) définissent la suite cepstre d'énergie associée au doublet $([f_n], \rho)$

$$(9) g_p(v) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{f_n}{\rho^n} e^{-2j\pi n \Delta T v}$$

ELIMINATION DE REFLEXIONS PARASITES PAR LE CEPSTRE D'ENERGIE
 APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES
 ELIMINATION OF PARASITICAL REFLECTIONS BY THE POWER CEPSTRUM
 APPLICATION TO THE STUDY OF ENERGY'S EXCHANGE BETWEEN WALLS

$$(10) \frac{f_n}{\rho^n} = \Delta T \int_0^{\frac{1}{\Delta T}} \text{LOG}(|g_p(v)|) e^{2j\pi v n \Delta T} dv$$

Pour réaliser pratiquement le calcul numérique de la suite $[\frac{f_n}{\rho^n}]$

Nous devons limiter la longueur de la suite

$[\frac{f_n}{\rho^n}]$ et discrétiser l'intégrale (10)

Nous utiliserons

* $[\frac{f_n}{\rho^n}]$ lorsque cette suite est de longueur

limitée à N

($f_n = 0$ n < 0, n > N-1)

* $[f_n^{(N)}]$ suite $[\frac{f_n}{\rho^n}]$ périodisée avec un pas N,

dans le cas contraire $(\frac{f_n^{(N)}}{\rho^n} = \sum_{r=-\infty}^{+\infty} \frac{f_{n-rN}}{\rho^{n-rN}})$

Par ailleurs la discrétisation de (10) revient à remplacer la suite

$$[\frac{f_n}{\rho^n}] \text{ par } [f_n^{(N)}]$$

version périodisée de pas N

$$(\frac{f_n^{(N)}}{\rho^n} = \sum_{r=-\infty}^{+\infty} \frac{f_{n-rN}}{\rho^{n-rN}})$$

L'algorithme de calcul de la suite cepstre d'énergie associée au doublet $([\frac{f_n}{\rho^n}], \rho)$ est alors

$$[f_n] \rightarrow [\frac{f_n}{\rho^n}] \rightarrow [f_n^{(N)}] \xrightarrow{\text{TFR}(N)} g_p(v_m) \xrightarrow{\text{LOG}} \text{LOG}(|g_p(v_m)|) \xrightarrow{\text{TFR}(N)} [f_{m,p}^{(N)}]$$

$[f_n^{(N)}]$ est une suite périodique de pas N

$[f_n^{(N)}]_{n=0}^{n=N-1}$ étant le motif de cette suite tel que $0 \leq n \leq N-1$

$$(12) g_p(v_m) = \text{TFR}(N) [f_n^{(N)}]_{n=0}^{n=N-1} \quad v_m = \frac{m}{N \Delta T} \quad 0 \leq m \leq N-1$$

La suite obtenue par l'algorithme n'étant pas la suite cepstre mais la suite $[\frac{f_n}{\rho^n}]$

périodisée avec un pas N., il faut donc que N soit suffisamment grand pour que l'effet du aux recouvrements des motifs reste faible

2 - UTILISATION DU CEPSTRE D'ENERGIE POUR OBTENIR L'AMPLITUDE RELATIVE DE DEUX SIGNAUX D'ENERGIE FINIE, DE MEME FORME, BROUILLES PAR DES REFLEXIONS PARASITES

2-1 Cas parfait

Soit deux signaux $Y_1(t)$ et $Y_2(t)$ tels que

$$Y_1(t) = X(t) + \sum_{i=1}^{N_1} a_{1,i} X(t-t_{1,i}) \quad t_{1,i} > 0, |a_{1,i}| < 1$$

$$Y_2(t) = K X(t) + \sum_{i=1}^{N_2} K a_{2,i} X(t-t_{2,i}) \quad t_{2,i} > 0, |a_{2,i}| < 1, K > 0$$

après échantillonnage avec un pas ΔT et en posant

$$t_{1,i} = l_{1,i} \Delta T \text{ et } t_{2,i} = l_{2,i} \Delta T$$

il vient

$$[Y_m]_1 = [X_m] * [\Delta e]_1 \quad [Y_m]_2 = K [X_m] * [\Delta e]_2$$

$$\text{avec } [\Delta e]_q \Rightarrow \begin{cases} \Delta_0 = 1 \\ \Delta_{l_{q,i}} = a_{q,i} \quad i \in [1, \dots, N_q] \\ \Delta_e = 0 \text{ pour } n \neq 0 \text{ et } n \neq l_{q,i} \end{cases}$$

Le cepstre d'énergie transforme ces produits de convolution en somme

$$CE[[Y_m]_1, \rho] = CE[[X_m]_1, \rho] + CE[[\Delta e]_1, \rho]$$

$$CE[[Y_m]_2, \rho] = CE[[K[X_m]_1, \rho] + CE[[\Delta e]_2, \rho]$$

Cette propriété provient du fait que le cepstre d'énergie est la transformée de FOURIER inverse du Logarithme du module de la transformée de FOURIER du signal

$$[Y_m] = [X_m] * [\Delta e] \quad g_p^Y(v) = g_p^X(v) \cdot g_p^\Delta(v)$$

$$(13) \text{LOG}(|g_p^Y(v)|) = \text{LOG}(|g_p^X(v)|) + \text{LOG}(|g_p^\Delta(v)|)$$

Le Logarithme "démodule" puisqu'il fait apparaître l'ondulation $\text{LOG}(|g_p^\Delta(v)|)$ caractéristique des réflexions sur toute la bande fréquentielle d'analyse $(\frac{1}{\Delta T})$ et ce indépendamment

de la valeur de $|g_p^X(v)|$

Le Logarithme présente aussi l'intérêt d'élargir la largeur de bande du signal de base

$\text{LOG}(|g_p^X(v)|)$ est plus large que $|g_p^X(v)|$. De ce fait le cepstre d'énergie du signal de base sera bien plus étroit que sa fonction d'autocorrélation

On montre [4] que le cepstre d'énergie d'une suite du type $[\Delta e]_q$ est une suite de raies plus ou moins complexée suivant la valeur de ρ

si (13) $\sum_{i=1}^{N_q} |a_{q,i}| \rho^{-l_{q,i}} < 1$ alors $CE[[\Delta e]_q, \rho]$ est

composée d'une série de pics pour chaque

$l_{q,i}$ du type $\text{Fig}(1)$

$$[l_{q,i} (\frac{a_{q,i}}{2}); 2l_{q,i} (-\frac{a_{q,i}^2}{4}); 3l_{q,i} (\frac{a_{q,i}^3}{6}) \dots]$$

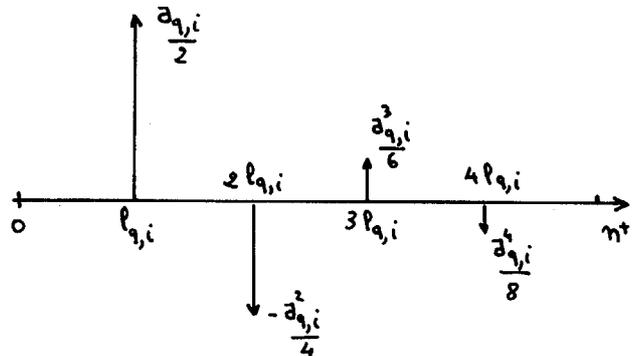


Fig. 1



ELIMINATIONS DE REFLEXIONS PARASITES PAR LE CEPSTRE D'ENERGIE
 APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES
 ELIMINATION OF PARASITICAL REFLECTIONS BY THE POWER CEPSTRUM
 APPLICATION TO THE STUDY OF ENERGY'S EXCHANGE BETWEEN WALLS

mais aussi possède un pic pour toute combinaison entière positive des $l_{q,i}$

$$[\Delta_{\ell, \rho}]_q \neq 0 \text{ pour tout } \ell = \sum_{i=1}^{N_q} m_i l_{q,i} \quad m_i \geq 0$$

par exemple : pour $\ell = l_{q,1} + l_{q,2}$ $\Delta_{\ell, \rho} = -\frac{1}{2} a_{q,1} a_{q,2}$
 $\ell = l_{q,1} + 2l_{q,2}$ $\Delta_{\ell, \rho} = \frac{1}{2} a_{q,1} a_{q,2}^2$
 $\ell = l_{q,1} + l_{q,2} + l_{q,3}$ $\Delta_{\ell, \rho} = a_{q,1} a_{q,2} a_{q,3}$

dans le cas où ρ ne vérifie pas la relation (13) il y a aussi des pics pour les combinaisons entières de $l_{q,i}$ pour lesquels il y a des m_i négatifs.
 Les figures 3,4,5 illustrent les différents cas

(le signal de base est : $X(t) = 100t e^{-6t} U(t)$
 $U(t)$ échelon unité
 et $Y(t) = X(t) + a_1 X(t-t_1) + a_2 X(t-t_2)$
 avec ΔT tel que $t_1 = 40\Delta T$ et $t_2 = 70\Delta T$

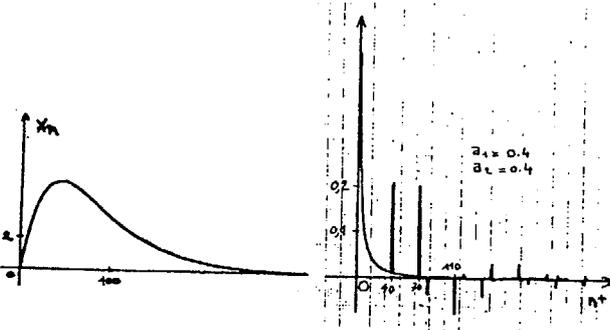


Fig. 2 Signal de base seul

Fig. 3 Cepstre d'énergie pour un signal triple échos
 $a_1 = 0.4 \quad t_1 = 40 \Delta T$
 $a_2 = 0.4 \quad t_2 = 70 \Delta T$
 $\rho = 1$

2-2 Cas réels

D'une part on ne possède le signal que sur un temps fini, ce qui entraîne généralement une forte modification de $|g_{\rho}^x(v)|$ dans les zones fréquentielles où la densité spectrale d'énergie ($|g_{\rho}^x(v)|^2$) du signal de base est faible [4]

D'autre part il y a toujours un bruit de fond ce qui réduit la bande spectrale sur laquelle l'ondulation LOG ($|g_{\rho}^x(v)|$) apparaît

De ce fait, seule une partie de la bande fréquentielle d'analyse (1) doit être prise en considération. ΔT

Nous avons montré [4] que le spectre logarithme ($\text{LOG}(|g_{\rho}^y(v)|)$) doit être traité par une porte que nous avons dénommée porte CEPHAG (annexe). Ce traitement permet d'éliminer la zone fréquentielle inutilisable tout en laissant l'image cepstre insensible (sauf pour l'indice zéro) au facteur d'échelle

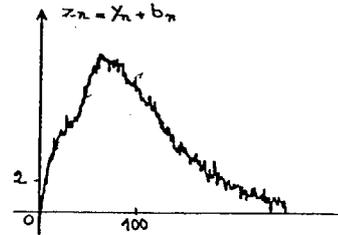


Fig. 6 Signal double échos bruité
 $Y_n = X_n + 0.8 X_{n-40} + 0.8 X_{n-70} + b_n$
 b_n : bruit blanc

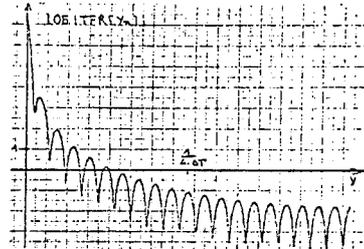


Fig. 7 Logarithme du module de la TF du signal double échos sans bruit

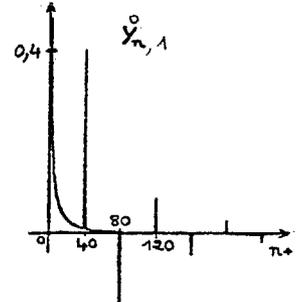


Fig. 8 Cepstre d'énergie correspondant à la Fig. 7

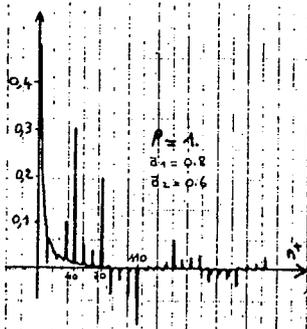


Fig. 4 Cepstre d'énergie pour un signal triple échos
 $a_1 = 0.8 \quad t_1 = 40 \Delta T$
 $a_2 = 0.6 \quad t_2 = 70 \Delta T$
 $\rho = 1$

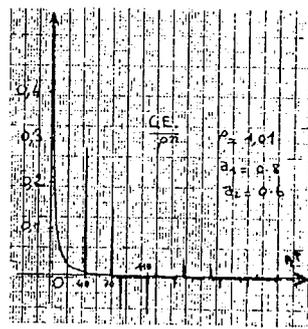


Fig. 5 Cepstre d'énergie pour un signal triple échos
 $a_1 = 0.8 \quad t_1 = 40 \Delta T$
 $a_2 = 0.6 \quad t_2 = 70 \Delta T$
 $\rho = 1.01$

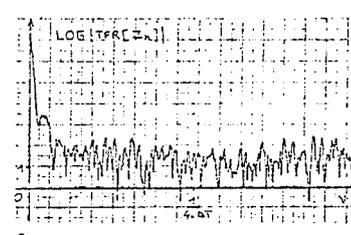


Fig. 9 Logarithme du module de la TF pour le signal bruité (Fig. 6)

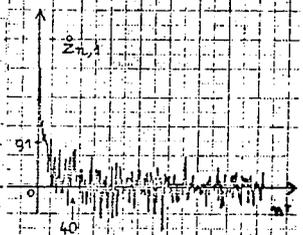


Fig. 10 Cepstre d'énergie correspondant à la Fig. 9

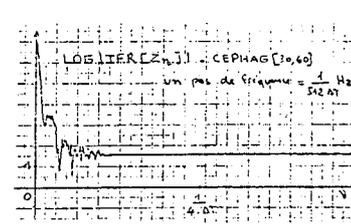


Fig. 11 Fig. 9 après traitement par une porte CEPHAG [30,60]

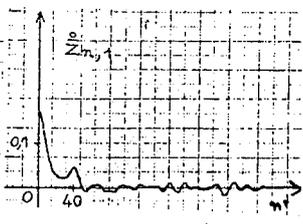


Fig. 12 Cepstre d'énergie correspondant à la Fig. 11

Le cepstre d'énergie ayant la propriété de n'être sensible à un facteur d'homothétie que pour le terme d'indice zéro ($\text{CE}[K[X_n], \rho] = \text{CE}[[X_n], \rho]$ sauf pour l'indice zéro où la différence est $\text{LOG}(K)$) théoriquement il suffit de faire la différence, pour l'indice zéro, des cepstres de $Y_1(t)$ et $Y_2(t)$ pour obtenir $\text{LOG}(K)$ donc K .
 K peut donc être estimé sans avoir à connaître a priori les paramètres caractéristiques des réflexions.

ELIMINATION DE REFLEXIONS PARASITES PAR LE CEPSTRE D'ENERGIE
 APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES
 ELIMINATION OF PARASITICAL REFLECTIONS BY THE POWER CEPSTRUM
 APPLICATIONS TO THE STUDY OF ENERGY'S EXCHANGE BETWEEN WALLS

Du fait de la nécessité d'utiliser une porte CEPHAG pour ne prendre en compte que la partie utile de la zone fréquentielle d'analyse, la comparaison directe des cepstres d'énergie pour l'indice zéro ne donne pas une bonne estimation pour K. En effet, la différence des cepstres en zéro va pratiquement être égale à la différence entre les constantes des portes CEPHAG utilisées pour traiter $\text{LOG}(|g_p^{y1}(v)|)$ et $\text{LOG}(|g_p^{y2}(v)|)$

L'estimation peut par contre se faire en éliminant sur l'image cepstre les pics de réflexions et en comparant après transformation de FOURIER les "spectres logarithmiques" ainsi filtrés. Cette méthode n'est possible que si le logarithme de la densité spectrale du signal de base est suffisamment basse fréquence devant les ondulations dues aux réflexions.

Une autre méthode consiste à comparer les valeurs moyennes de $\text{LOG}(|g_p^{y1}(v)|)$ et de $\text{LOG}(|g_p^{y2}(v)|)$ à v croissant

$$(14) \text{LOG}(K(v_1)) = \frac{\int_{v_1}^{v_2} [\text{LOG}(|g_p^{y2}(v)|) - \text{LOG}(|g_p^{y1}(v)|)] dv}{2 v_1}$$

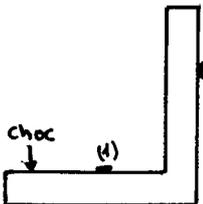
Pour v_1 faible le moyennage ne va pas être suffisant pour éliminer l'effet des ondulations dues aux réflexions et $K(v_1)$ ne va pas être stable. v_1 augmentant $K(v_1)$ va se stabiliser. Lorsque v_1 va dépasser la zone fréquentielle "utile", $K(v_1)$ va de nouveau se mettre à évoluer de façon notable. Il sera pris comme estimation pour K la valeur de $K(v_1)$ dans la zone stabilisée

3 - APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES

3-1 Définition du problème

Il est nécessaire, entre autre, afin de prévoir le comportement acoustique des bâtiments, de connaître les échanges énergétiques vibratoires de chaque jonction.

La méthode impulsive [3] consiste à provoquer à l'aide d'une bille d'acier, un choc sur une paroi et à comparer l'onde de flexion générée et l'onde transmise dans une paroi adjacente.



Mais la comparaison de l'onde incidente et de l'onde transmise ne peut se faire directement, à partir des accélérations enregistrées en (1) et (2), du fait des réflexions (bords, jonction)

La complexité du problème est encore accrue par le fait que le milieu est dispersif. Les écarts de temps entre les différentes réflexions sont donc fonction de la fréquence.

3-2 Traitements effectués et résultats

Nous avons commencé le dépouillement d'enregistrements obtenus par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Grenoble), lors d'expériences réalisées sur des plaques métalliques.

Du fait que le milieu est dispersif, il est nécessaire d'effectuer un filtrage passe bande autour de la fréquence auquel on s'intéresse, afin de retrouver un signal

à structure d'échos.

Ce filtrage ne doit pas être ni trop étroit ni trop large, sinon les pics de réflexion ne pourront pas être mis en évidence dans l'image cepstre.

Du fait qu'après filtrage le signal est "passe bande" il y a lieu de traiter non pas le signal lui même, mais l'enveloppe complexe (pour la fréquence centrale de la bande) du signal analytique associé.

Cette enveloppe étant en générale complexe, le cepstre d'énergie comporte une partie réelle et une partie imaginaire. Nous avons montré [4] que c'est alors le module du cepstre qu'il faut considérer pour faire apparaître les pics de réflexions.

Nous donnons les résultats du traitement portant sur une bande fréquentielle centrée sur 1056 Hz et de demi largeur 320 Hz (à 3db)

Les figures 15 et 18 font bien apparaître des pics de réflexions.

Compte-tenu que les premiers pics sont proches de l'origine, nous avons choisi pour estimer K la méthode du moyennage des spectres logarithmiques (formule N° 14).

La figure 19 donne en db $(-20 \log(K(v)))$ le facteur de proportionnalité entre le signal incident et transmis en fonction de v_1

Nous voyons qu'à v_1 faible le moyennage n'est pas suffisant et l'estimation est très mauvaise ; puis v_1 augmentant l'estimation se stabilise pour se remettre à varier lorsque l'on sort de la zone fréquentielle utile. Pour le cas traité, l'estimation de K est de -4,8db à 0,2 db près.

CONCLUSION :

Le cepstre d'énergie moyennant des traitements annexes peut permettre de comparer les densités spectrales de signaux à partir d'enregistrements comportant des réflexions parasites.

Les premiers résultats que nous avons obtenus sur des signaux acoustiques permettant de caractériser l'échange énergétique vibratoire entre parois, sont encourageants.



ELIMINATION DE REFLEXIONS PARASITES PAR LE CEPSTRE D'ENERGIE
 APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES
 ELIMINATION OF PARASITICAL REFLECTIONS BY THE POWER CEPSTRUM
 APPLICATION TO THE STUDY OF ENERGY'S EXCHANGE BETWEEN WALLS

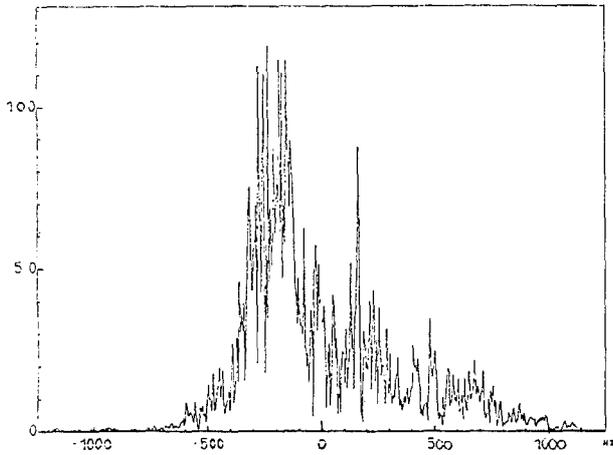


Fig. 13 Module de la transformée de FOURIER de l'enveloppe complexe associée (pour $\nu = 1056$ Hz) au signal incident filtré par un filtre passe-bande du 3ème ordre de fréquence centrale 1056 Hz et de demi largeur (à 3db) de 320 Hz

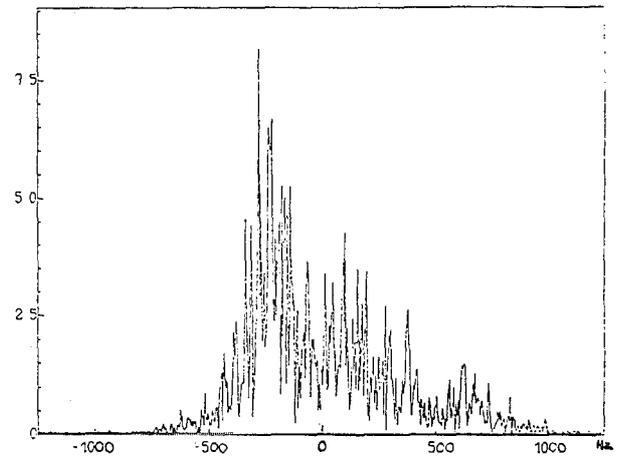


Fig. 16 Module de la transformée de FOURIER de l'enveloppe complexe associée (pour $\nu = 1056$ Hz) au signal transmis filtré par un filtre passe bande du 3ème ordre de fréquence centrale 1056 Hz et de demi largeur (à 3 db de 320 Hz)

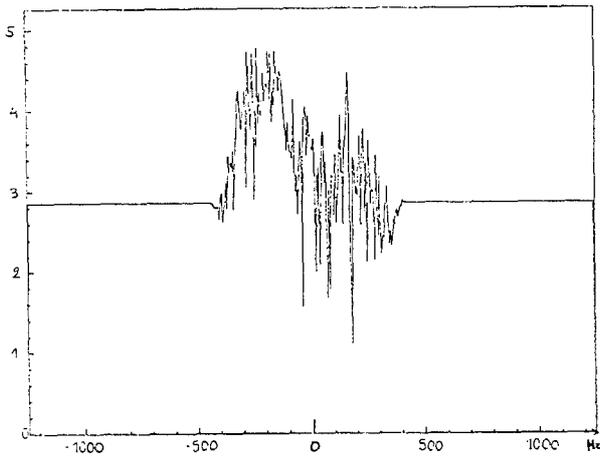


Fig. 14 Logarithme népérien de la fig. 13 traitée par une porte CEPHAG (320,460)

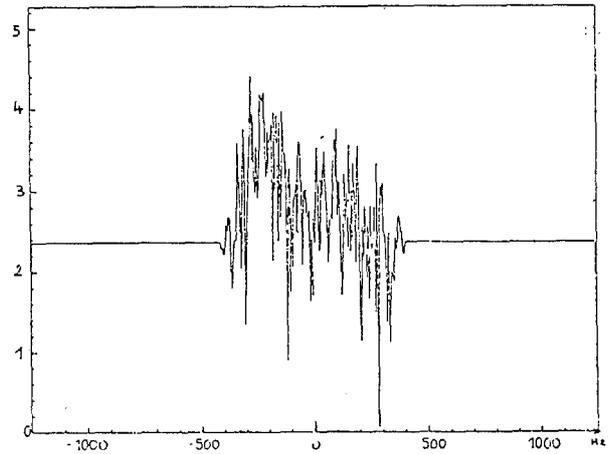


Fig. 17 Logarithme népérien de la fig. 16 traitée par une porte CEPHAG (320,460)

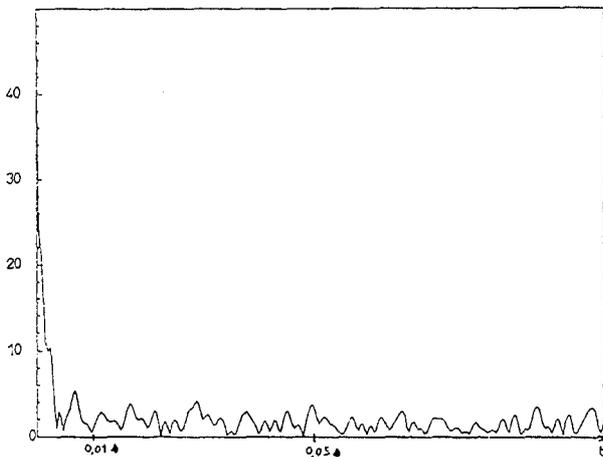


Fig. 15 Cepstre du signal incident (transformée de FOURIER inverse de la fig.14)

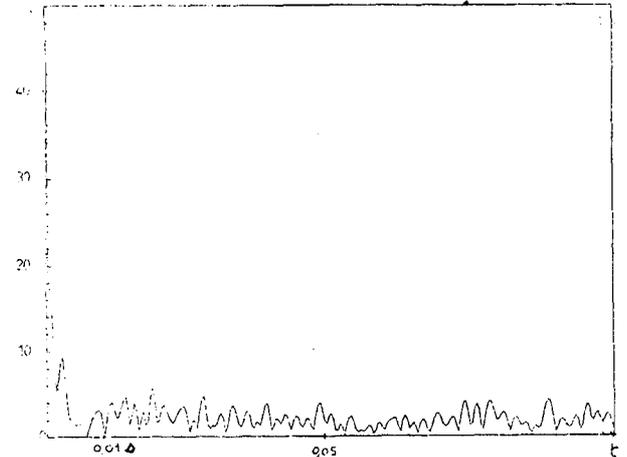


Fig. 18 Cepstre du signal transmis (transformée de FOURIER inverse de la fig. 17)

ELIMINATION DE REFLEXIONS PARASITES PAR LE CEPSTRE D'ENERGIE
 APPLICATION A L'ETUDE DE L'ECHANGE ENERGETIQUE ENTRE PAROIES
 ELIMINATION OF PARASITICAL REFLECTIONS BY THE POWER CEPSTRUM
 APPLICATION TO THE STUDY OF ENERGY'S EXCHANGE BETWEEN WALLS

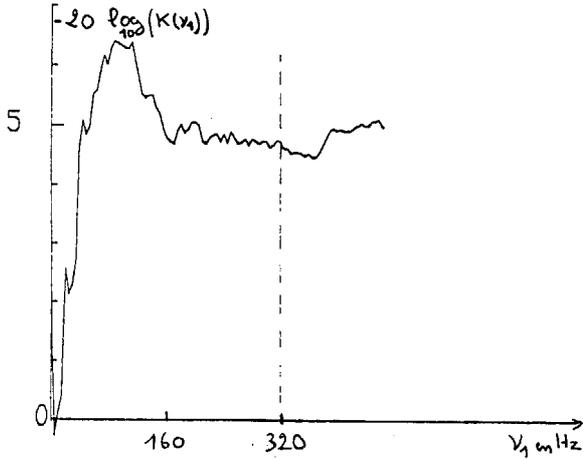
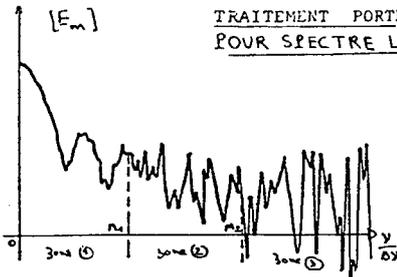


Fig. 19 Facteur de proportionnalité, en db entre signal incident et transmis, obtenu par moyennage de spectre logarithmique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALAN V. OPPEINHEIM, RONALD W. SCHAFERT, THOMAS G. STOCKHAM
 Non Linear Filtering of multiplied an convoled signals
 Proceeding of the IEEE Vol 56 N° 8 August 1968
- [2] RC KEMERAIT et D.G. CHILDERS
 Signal detection an extraction by cepstrum techniques
 IEEE IT.18 N° 6 November 72 P.745-755
- [3] A CHAUMETTE, M. VILLOT, N.DANTHON
 Transmission du bruit par les structures janvier 1975
 CSTB 22, rue Joseph Fourier 38400 St-Martin-d'Hères
- [4] JC. BALLUET Les opérateurs CEPSTRES application à la séparation d'échos rapprochés thèse de Docteur Ingénieur février 1979 Institut National Polytechnique de Grenoble

ANNEXE



TRAITEMENT PORTE CEPHAG
 POUR SPECTRE LOGARITHMIQUE SYMETRIQUE

$[E_m]$ suite d'échantillons tous les $\Delta v = \frac{1}{N\Delta T}$
 du logarithme de la transformée de FOURIER du signal échantillonné

ILLUSTRATION

Figure 20

Définition analytique

Soit $[S_m]$ la suite résultat du traitement de $[E_m]$ par la porte CEPHAG

$$[S_m] = \text{CEPHAG} [[E_m], M_1, M_2]$$

* zone 1 : $0 \leq m \leq M_1$

$$S_m = E_m$$

* zone 2 : $M_1 < m \leq M_2$

$$S_m = (E_m - \text{CST}) \frac{1}{2} [\cos \pi \frac{m-M_1}{M_2-M_1}] + 1] + \text{CST}$$

$$\text{CST} = \sum_{j=M_1+1}^{M_2} \frac{E_m}{M_2-M_1}$$

* zone 3 : $M_2 < m \leq \frac{N}{2}$

$$S_m = \text{CST}$$

* zone 4 : $\frac{N}{2} < m \leq N-1$

$$S_m = S_{N-m}$$

On peut vérifier que si $[E_m]$ est multipliée par λ alors $\log(|\lambda|)$ s'ajoute à tous les termes de $[S_m]$

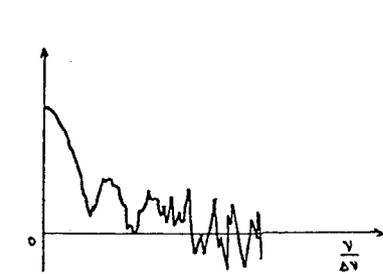


Fig. 21 : CST est retranchée à $[E_m]$ et la zone 3 est mise à zéro

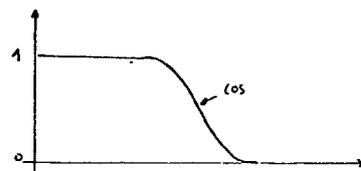


Fig. 22 : Porte P

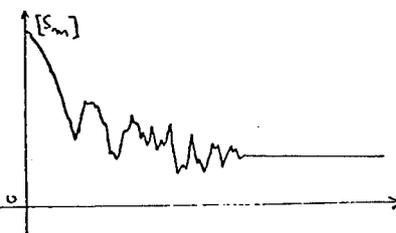


Fig. 23 : Fig. 21 x Porte P + CST

