

Etude des propriétés acoustiques des roches par estimation spectrale paramétrique

A. LACHOURI, N. DOGHMANE, S. SAAD, L. HEROUS (*)

Résumé :

Nous présentons, dans cet article, une méthode d'analyse qualitative des propriétés acoustiques de la roche en utilisant une estimation spectrale par prédiction linéaire.

Cette étude est basée sur l'analyse d'un signal ultrasonore ayant traversé le matériau spécifique.

Nous préconisons, une représentation du signal par un modèle autorégressif (AR).

Les paramètres du modèle AR devront nous permettre d'extraire l'information pertinente et non redondante pour réaliser un diagnostic fin et précis sur la qualité de la roche.

Mots clés : Propriétés acoustiques, ultrasonore, estimation paramétrique, modèle AR, prédiction linéaire.

Abstract :

In this paper, an analysis method is presented to determine the rock acoustic properties using spectral analysis.

This study is based on the analysis of the signal crossing the rock.

However, we intend to present this signal by an autoregressive model (AR).

The model parameters allow information extraction in order to realize good and accurate rock diagnosis.

Key Words: Acoustics properties, Spectral analysis, AR Model.

1 - Introduction

Le présent travail porte sur le domaine de la caractérisation des roches, en utilisant le contrôle non destructif par ultrasons.

Cependant, la mesure de la vitesse ultrasonore dans les roches est pratiquée couramment, par transmission à travers une éprouvette. Cette mesure, facile et rapide, fournit un élément d'identification et d'estimation des paramètres acoustiques des roches susceptibles de nous renseigner sur son état d'altération et de microfissuration, ... etc.

Le diagnostic se fait généralement à partir de l'amplitude du signal (atténuation) ou du retard engendré par ce dernier en traversant le solide (pour la mesure de la

éprouvette cylindrique de roche sèche.

1.1.1 - Dispositif de mesure

Le bâti - support (fig :1) assure une mise en place précise de l'échantillon; une légère charge statique voisine de 0,2mpa, est appliquée ce qui améliore la qualité des couplages (couplant utilisé : graisse de vaseline).

L'impulsion d'excitation de l'émetteur piézo-électrique fournie par un appareil à ultrason type YK6-1M URSS; un couple de transducteur (émetteur et récepteur), correspondant à une fréquence centrale de 60 KHz.

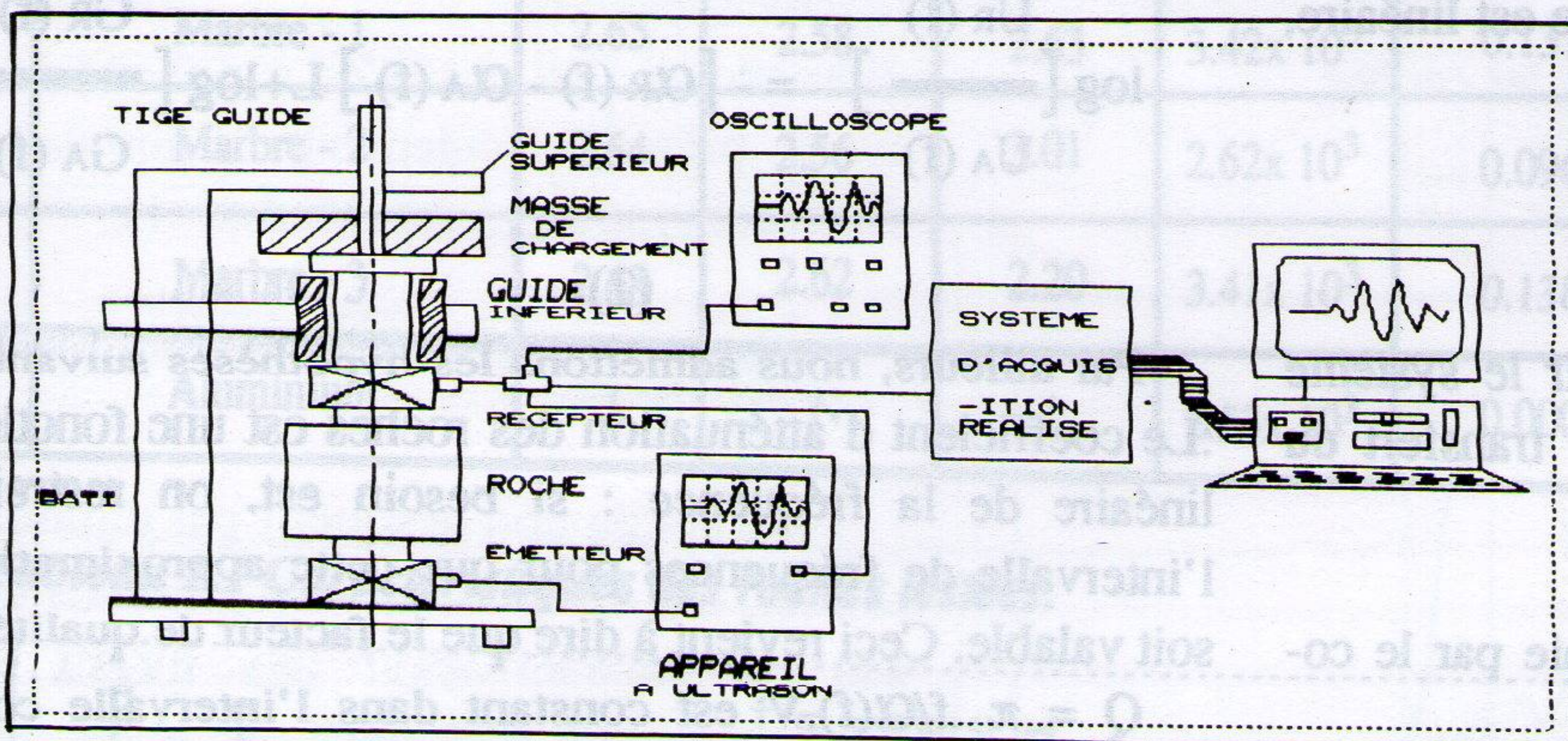


Figure 1 : Dispositif de mesure

vitesse de l'onde à l'intérieur du solide). Ceci donne une information insuffisante et parfois inexploitable qualifiée le plus souvent par quantitative.

nous espérons développer une méthode d'exploitation qualitative du signal ultrasonore. pour cela nous avons axé notre étude sur l'estimation spectrale par une modélisation paramétrique (AR) du système représentant le matériau à étudier. Ceci nous permet d'identifier et d'estimer le spectre de puissance du système d'une façon récursive voire adaptative. En effet, la localisation des différents défauts éventuellement présents dans le solide doit obéir à une loi séquentielle.

1.1 - Description de l'essai

La chaîne de mesure permet l'étude de l'atténuation des ondes longitudinales après qu'elles ont traversée une

1-2 - Exploitation du signal

L'analyse du signal est effectuée :

- Dans le domaine temporel (fig : 2)

La morphologie des premières alternances pseudo-fréquence est décrite, entre autres, par le temps de montée, ou par l'amplitude de la première alternance ...etc

- Dans le domaine spectral (TFR) (Fig. 3):

Le module de la TF du signal peut également être décrit par certains paramètres. La méthode qui sera développée ci-dessous est celle du rapport des spectres. Elle consiste à évaluer le pouvoir atténuant d'un matériau en comparant les signaux obtenus dans les mêmes conditions expérimentales, avec la roche d'une part, et avec un

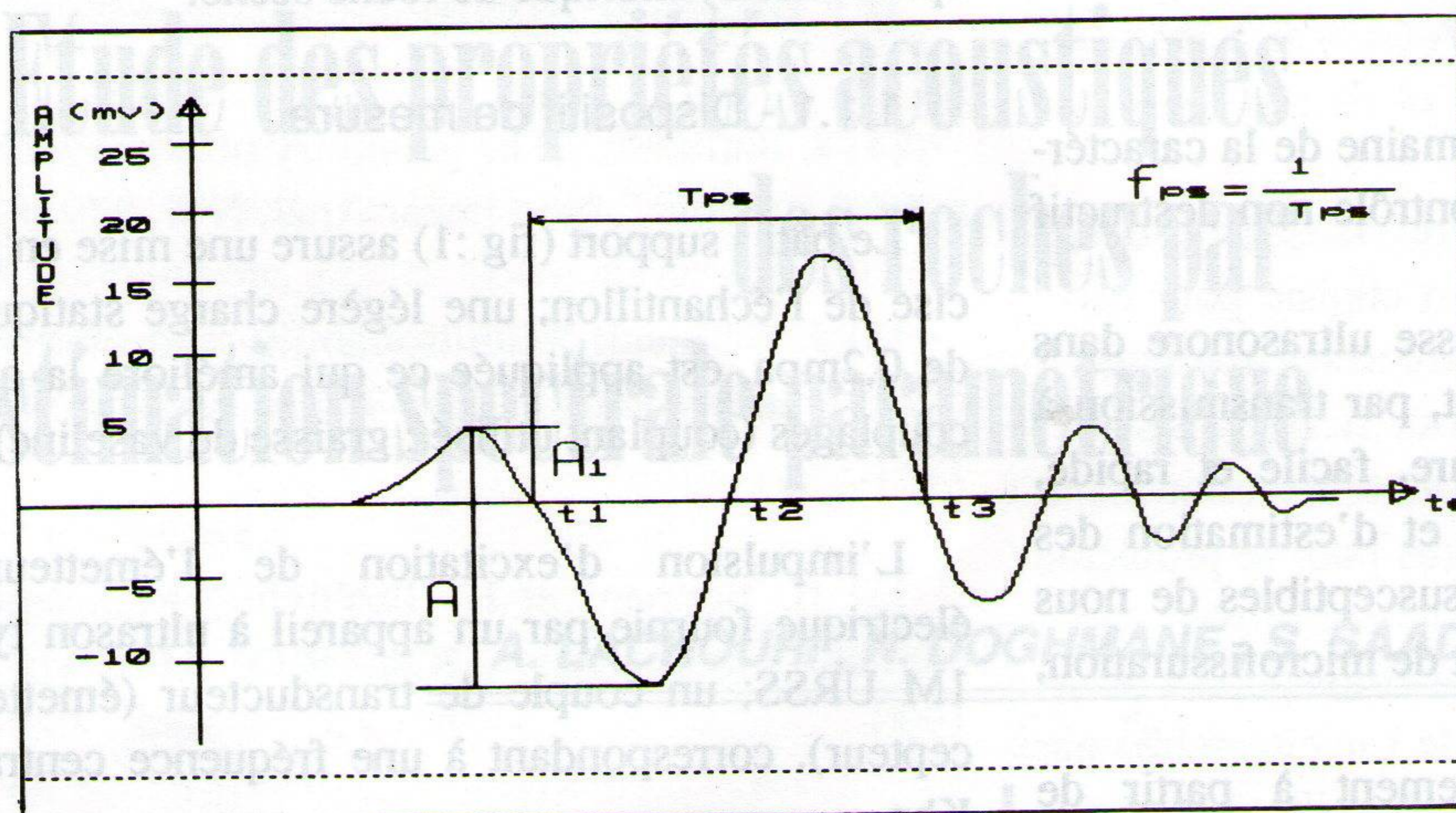


Figure 2 : Représentation temporelle d'un signal ultrasonore.

matériau de référence d'autre part (Al référence voir fig :

3). Dans la mesure où l'ensemble du système est linéaire, on peut écrire :

$$U(f) = F(f) \times G(f) \times I(f).$$

Avec : $U(f)$: TF du signal recueilli par le système d'acquisition. $F(f) = e^{-\alpha(f)L}$: fonction de transfert du matériau.

La décroissance de l'amplitude est définie par le coefficient d'atténuation :

$$\alpha(f) = \frac{I}{x_2 - x_1} \log \frac{A(x_2)}{A(x_1)} \quad (1)$$

Nous supposons, dans notre cas, que l'onde progressive, parcourant la distance L dans l'éprouvette, est quasi-plane.

$G(f)$: fonction de transfert du reste du système

$I(f)$: impulsion initiale générée par l'appareil ultrasonore

Soit U_R et U_A les signaux correspondant à la roche et à la référence (Aluminium) on a :

$$\log \left[\frac{U_R(f)}{U_A(f)} \right] = - [\alpha_R(f) - \alpha_A(f)] L + \log \left[\frac{G_R(f)}{G_A(f)} \right] \quad (2)$$

Par ailleurs, nous admettons les hypothèses suivantes : Le coefficient d'atténuation des roches est une fonction linéaire de la fréquence : si besoin est, on restreint l'intervalle de fréquences pour que cette approximation soit valable. Ceci revient à dire que le facteur de qualité : $Q = \pi \cdot f / \alpha(f) \cdot V$ est constant dans l'intervalle considéré.

Pour l'aluminium : on admet que Q_A tend vers l'infini c'est à dire α_A tend vers 0.

Le terme $G_R(f)/G_A(f)$ est indépendant de la fréquence ce qui est inexacte. dans ces conditions :

$$\log \left[\frac{U_R(f)}{U_A(f)} \right] \approx \frac{-\pi L}{Q_R V_R} f + k \quad (3)$$

Donc la méthode consiste à calculer :

$$\text{RDS (rapport des spectres)} = \log \frac{U_R(f)}{U_A(f)} \quad (4)$$

1.3 - Résultats et discussions

Le tableau ci-dessous résume les différentes caractéristiques des roches testées avec l'utilisation d'un transducteur disponible de 60khz.

L'atténuation que subissent les différents spectres des signaux ultrasonores ayant traversés les différentes roches est remarquable devant celle de l'Aluminium utilisé comme référence. Cette atténuation a plusieurs origines; elle est due aux porosités, aux fissures, à la géométrie des granulas constituant la roche, ... etc.

N°	Designation	densité g/cm ³	MV g/cm ³	porosité %	Vp (m/s)	(α)
1	Dolomie	1.687	1.6	5.15	2.33x 10 ³	0.959
2	Dolomie minéralisé	2.27	2.20	3	2.34x 10 ³	0.956
3	Marbre - 1	2.65	2.58	2.63	3.42x 10 ³	0.131
4	Marbre - 2	2.64	2.56	3.01	2.62x 10 ³	0.096
5	Marbre - 3	2.68	2.62	2.20	3.41x 10 ³	0.138
6	Aluminium	/	/	/	2.53x 10 ³	0.000

Tableau 1.1 Caractéristiques des roches testées.

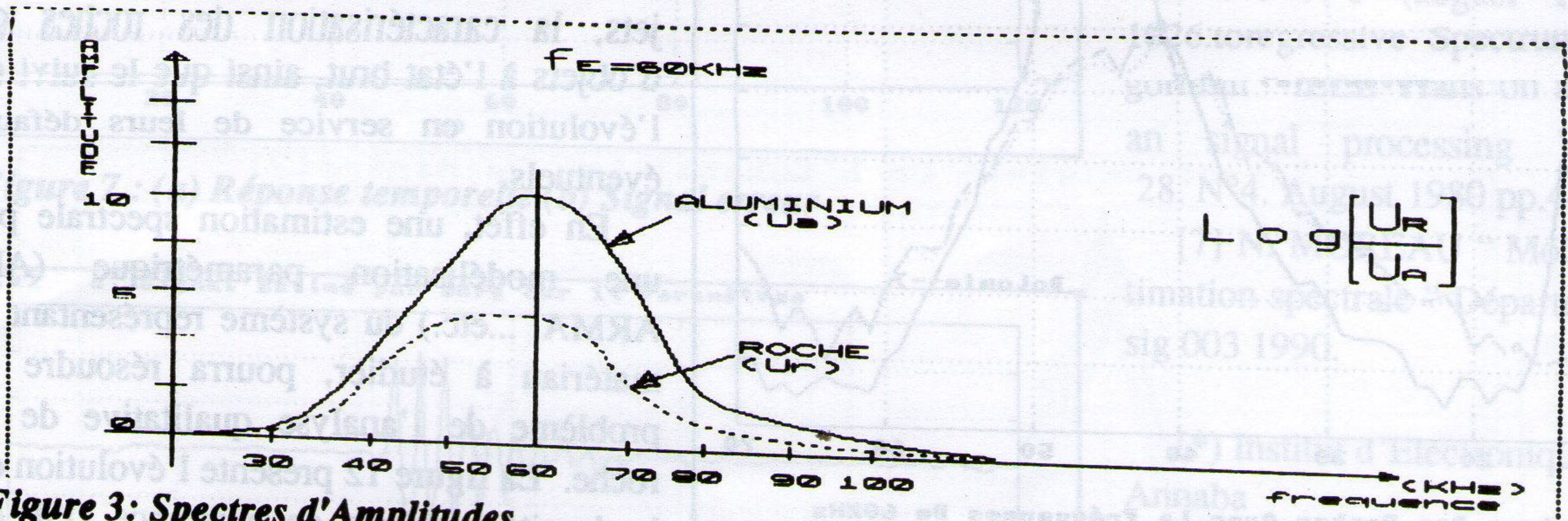


Figure 3: Spectres d'Amplitudes

2 - Analyse spectrale paramétrique autoregressive

Le modèle de la série temporelle qui approxime plusieurs processus déterministes et stochastiques rencontrés en pratique est représenté par l'équation aux différences d'un filtre linéaire suivant :

$$x(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k) u(n-k) \tag{5}$$

Où x(n) est la séquence de sortie d'un filtre causal et qui présente les données d'observation, u(n) est la séquence d'entrée.

la fonction de transfert est donnée par :

$$H(Z) = B(Z)/A(Z).$$

On prend b(0)= 1 pour assurer un gain unitaire du filtre. Donc on peut écrire les polynômes H(Z), B(Z) et A(Z) sous les formes suivantes :

$$A(Z) = 1 + \sum_{k=1}^p a_k Z^{-k} , B(Z) = 1 + \sum_{k=1}^q b_k Z^{-k}$$

et
$$H(Z) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} h_k Z^{-k} \tag{6}$$

Les deux polynômes A(Z) et B(Z) doivent être choisis de telle sorte à avoir toutes les racines à l'intérieur du cercle unité pour assurer la stabilité, la causalité et le filtre inverse stable.

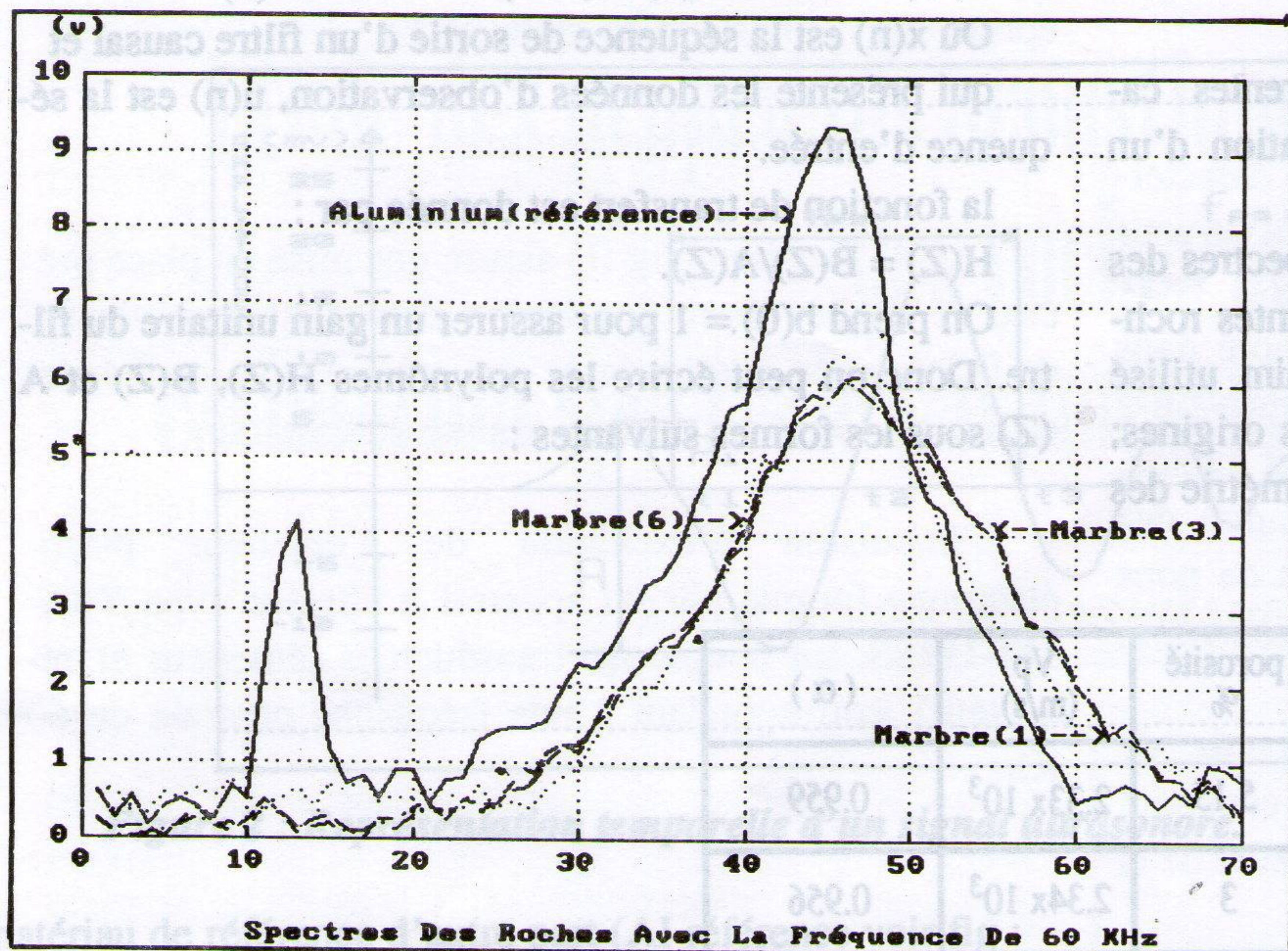


Figure 4: Spectre des S.U ayant traversés les roches

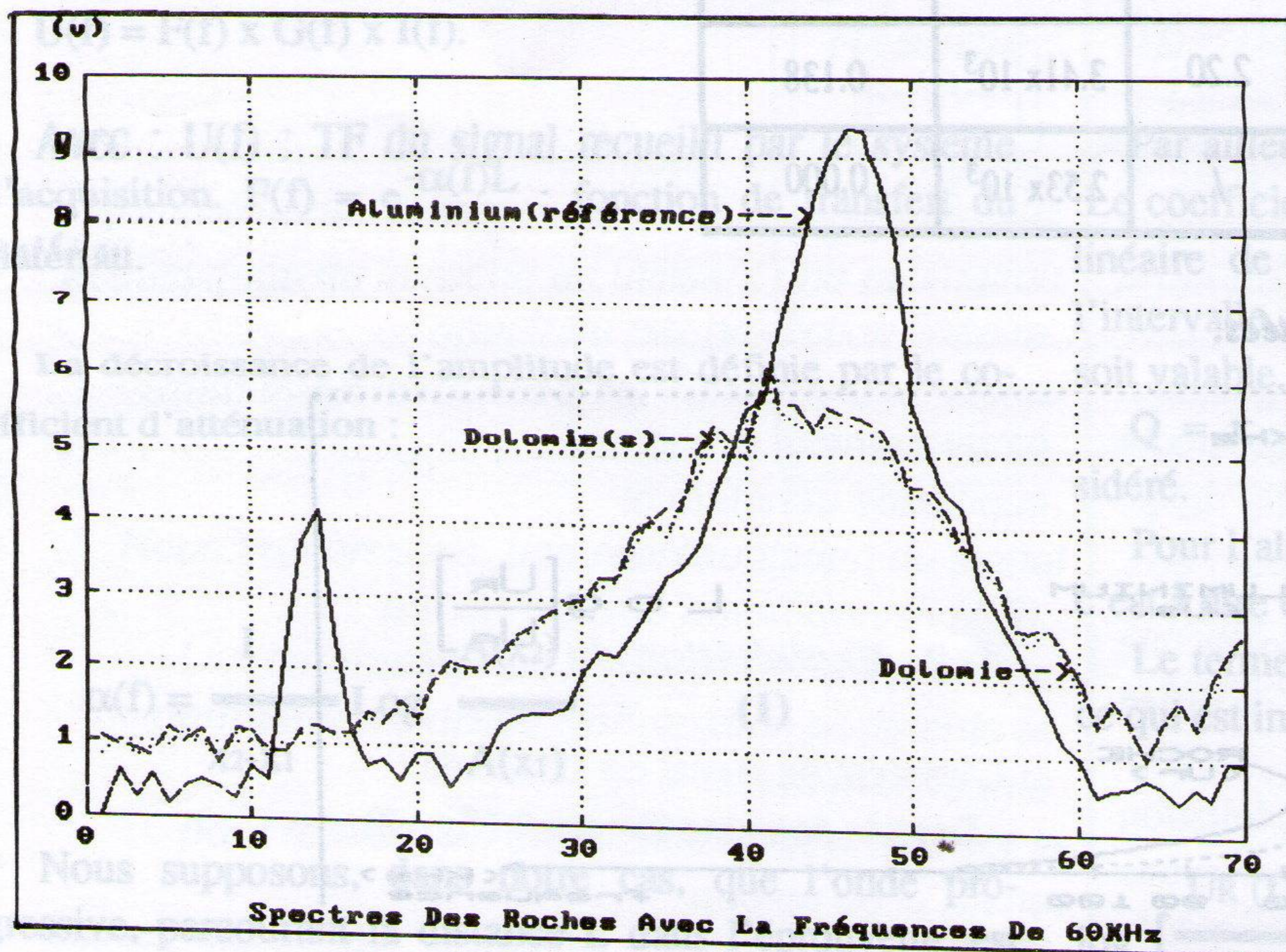


Figure 5: Spectre des S.U ayant traversés les roches

La DSP du modèle AR, excité par un bruit blanc de variances 2, est obtenue en substituant Z par $\exp(j2\pi ft)$.

$$PAR(f) = \sigma^2 / |A\{\exp(j2\pi ft)\}|$$

2.1 - Estimation des paramètres des roches

Dans notre application, nous avons travaillé sur certains types de roches; à savoir le Marbre (trois types différents), Dolomie (deux types différents) et l'Aluminium utilisé comme référence.

L'estimation de l'observation et de l'erreur de prédiction ainsi que l'estimation spectrale par l'application du FFT et le calcul de la DSP, après l'extraction des paramètres des modèles représentant les roches, en utilisant l'algorithme de Burg avec l'ordre 04 et 14 sont illustrés par les figures ci-dessous.

Remarque : En raison de simplicité nous avons présenté seulement la simulation d'un seul type de roche (Marbre -1).

Conclusion

Le contrôle non destructif par ultrasons permet, en respectant l'intégrité des objets, la caractérisation des roches ou d'objets à l'état brut, ainsi que le suivi de l'évolution en service de leurs défauts éventuels.

En effet, une estimation spectrale par une modélisation paramétrique (AR, ARMA, ...etc.) du système représentant le matériau à étudier, pourra résoudre le problème de l'analyse qualitative de la roche. La figure 12 présente l'évolution de la densité spectrale de puissance DSP en

nombre d'itérations. Ceci nous permet d'identifier et d'estimer le spectre de puissance du système d'une façon récursive. A partir de ce spectre nous pensons localiser les différents défauts éventuellement présents dans le solide. nous nous sommes spécialement intéressés aux techniques d'estimation paramétrique en treillis. Ces méthodes assurent une double récursion temps-fréquence et présentent une robustesse certaine vis à vis des bruits de quantification.

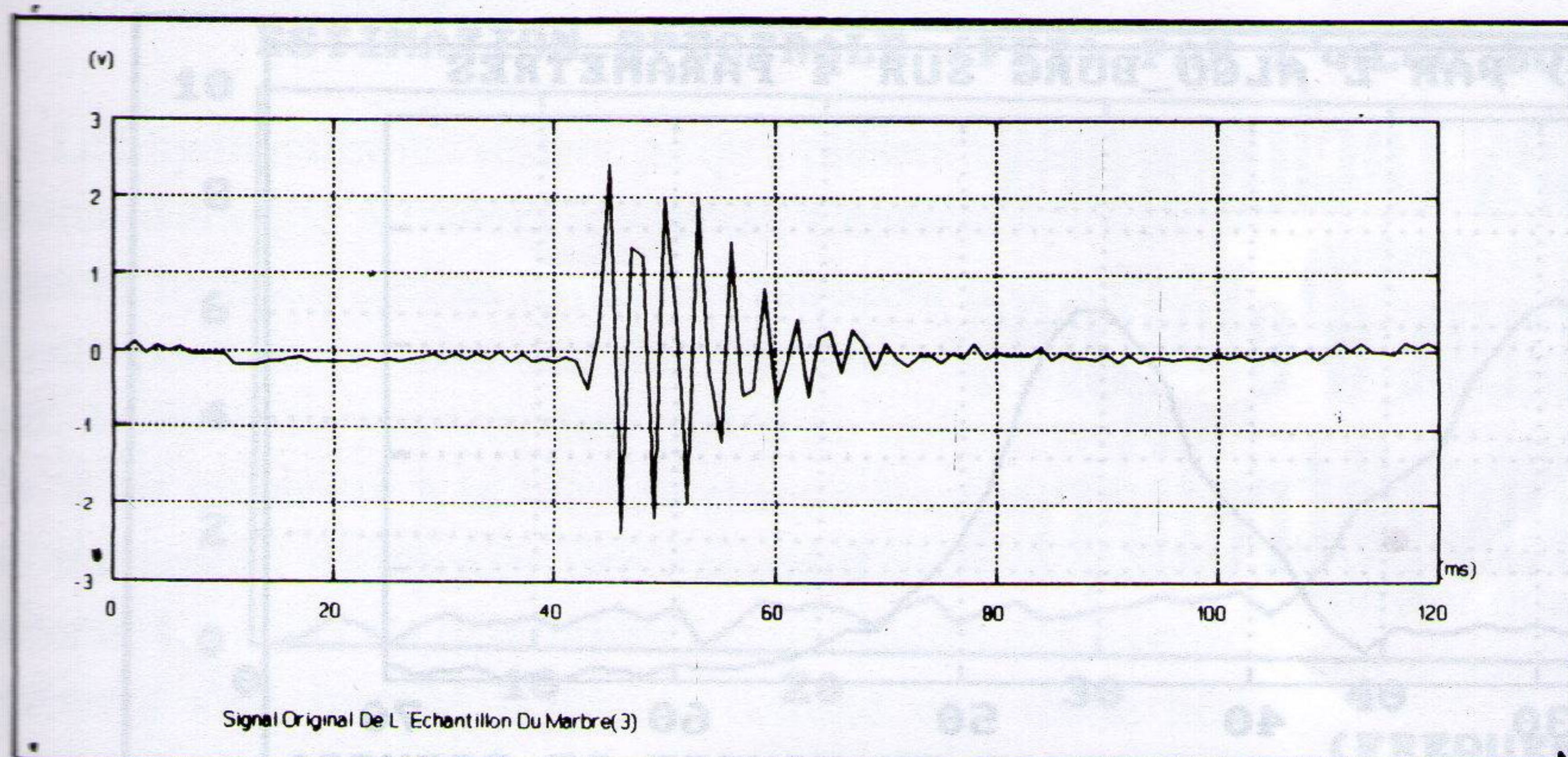


Figure 6: Représentation temporelle du S.U. ayant traversé le Marbre-1

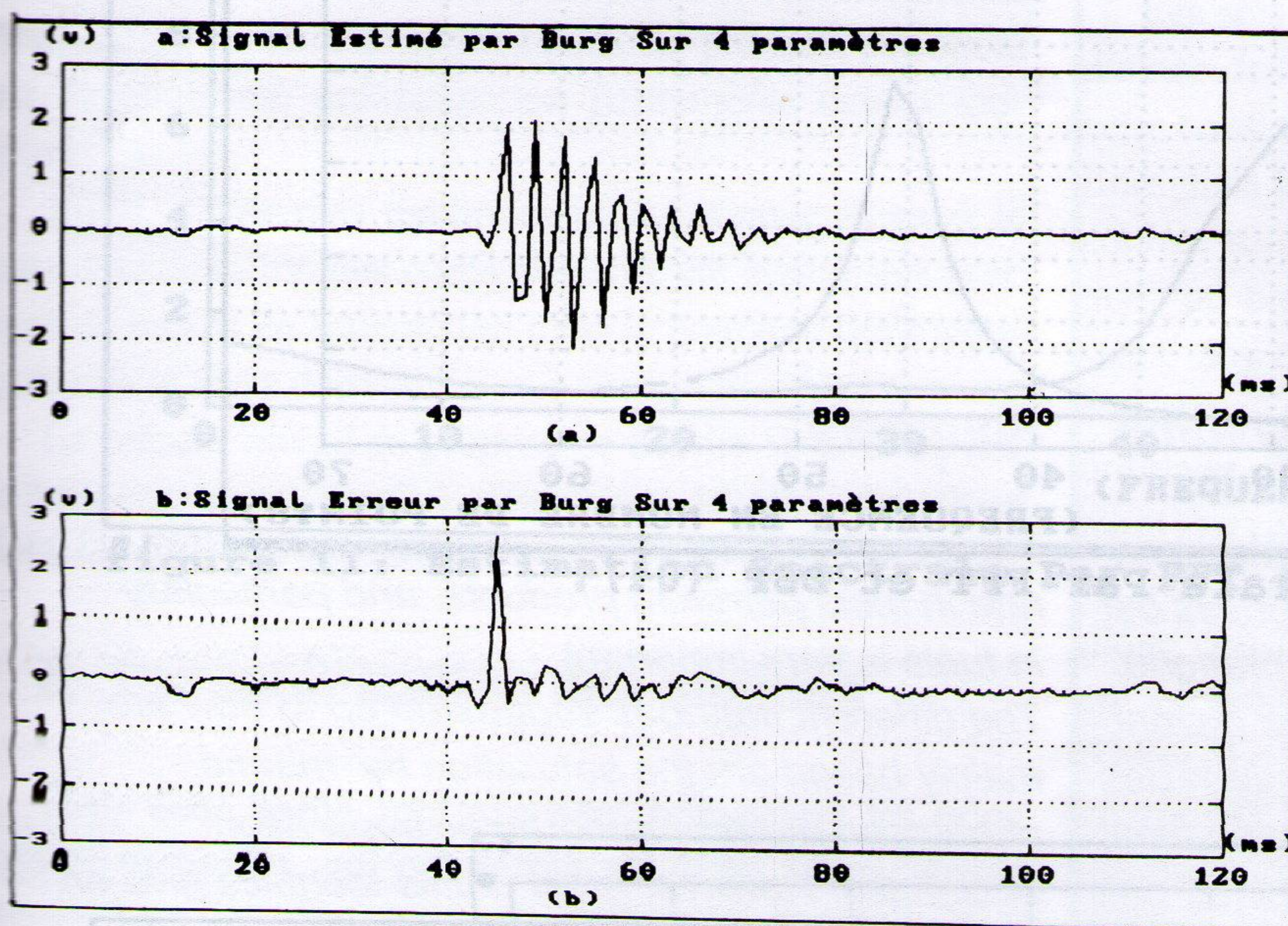
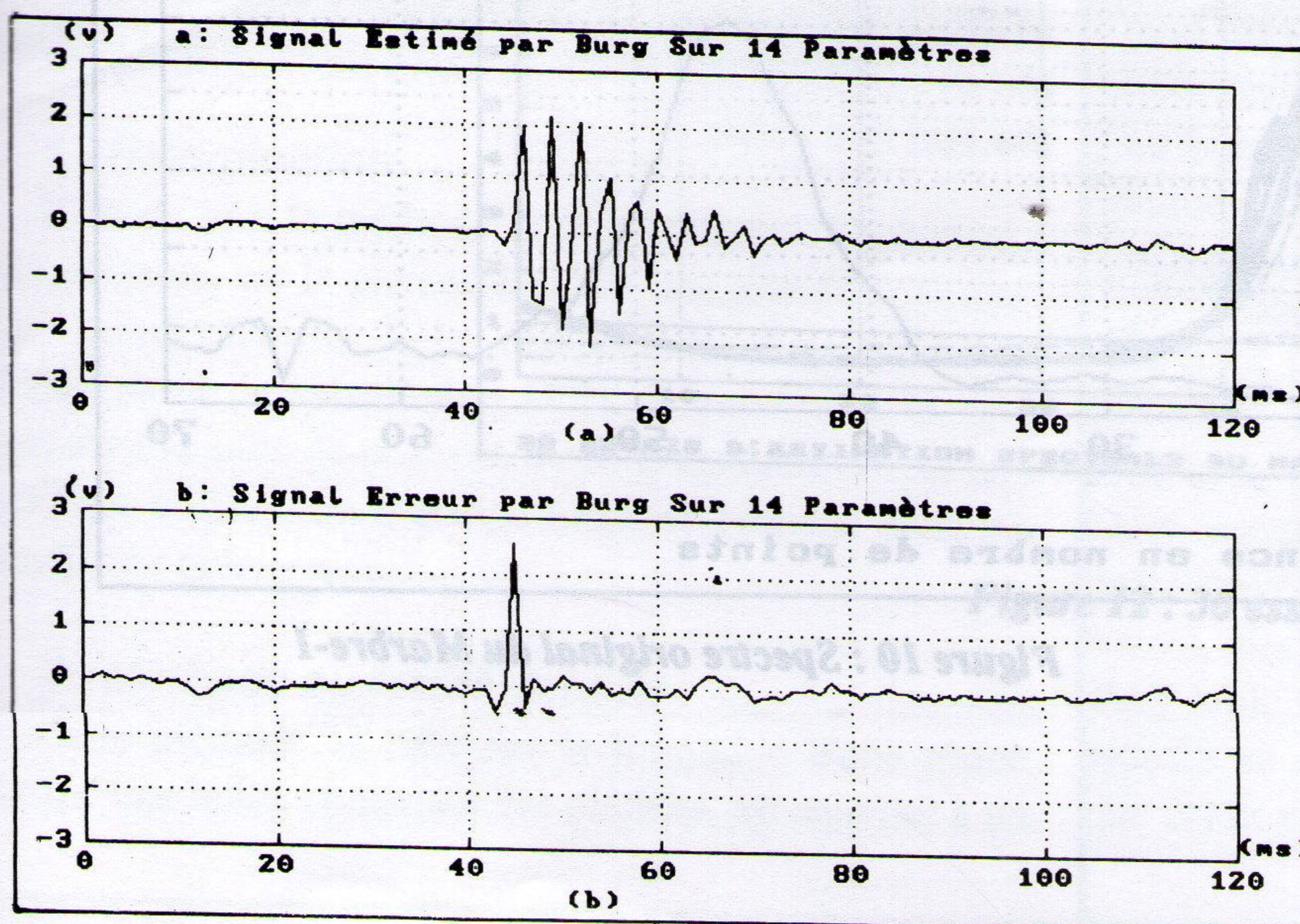


Figure 7 : (a) Réponse temporelle (b) Signal erreur



Bibliographie

[1] B. BOLIGAND et M. GROZELIER (1986) "Analyse spectrale en contrôle non destructif par ultrason". BP n°13, centre d'essais non destructifs, 71380 Saint Mural.

[2] M. BELLANGER (1989) "Analyse des signaux et filtrage numérique adaptatif".

[3] N. KLIMIS J.L. DURVILLE J. EHRLICH (1989) "Influence de la taille des grains et de l'altération des roches sur les mesures de l'atténuation des ondes ultrasonores en laboratoire". Rev. Franç. Géotech N°47. pp.29-38.

[4] A. LACHOURI "Etude des propriétés acoustiques des roches par estimation spectrale paramétrique". thèse de magister, Institut d'électronique. U. Annaba, 1995.

[5] N. LUCET et B. ZINSZNERFFECT "Effect of heterogenities and anisotropy on sonic and anisotropy on sonic and ultrasonic attenuation in rocks". Geophysics vol. 57. N°8 (august 1992) pp.1018-1026.toregressive Spectrum Analysis Algorithm " IEEE Trans on acoustic, speech an signal processing Vol. ASSP - 28. N°4. August 1980 pp.441-454.

[7] N. MOREAU "Modélisation et estimation spectrale" Département signal 90 sig 003 1990.

(*) Institut d'Electronique Université de Annaba
BP 12 Sidi Amar Annaba 23000

Figure 8 : (a) Réponse temporelle (b) Signal erreur

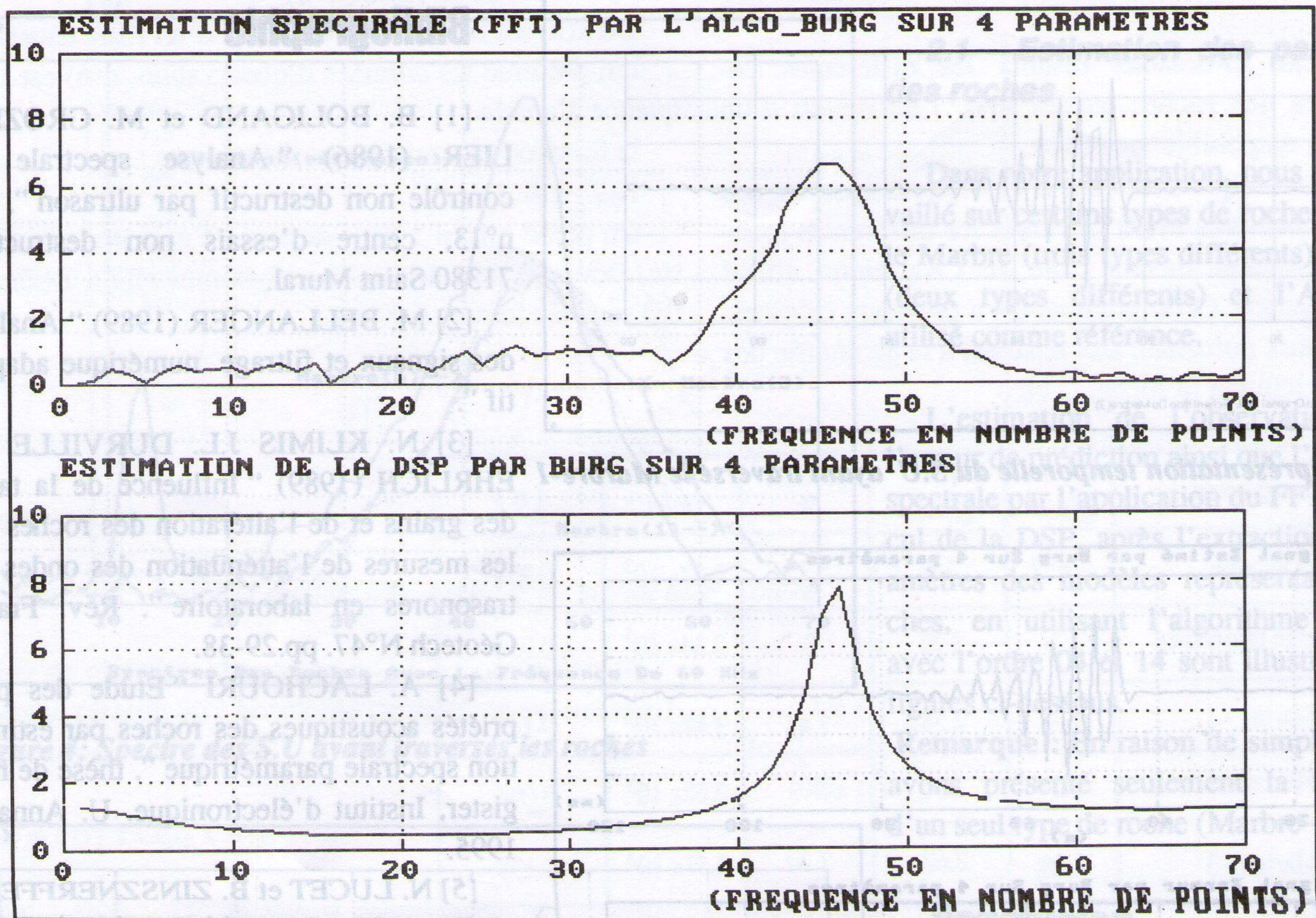


figure 9: Estimation Spectrale Par FFT et DSP (04).

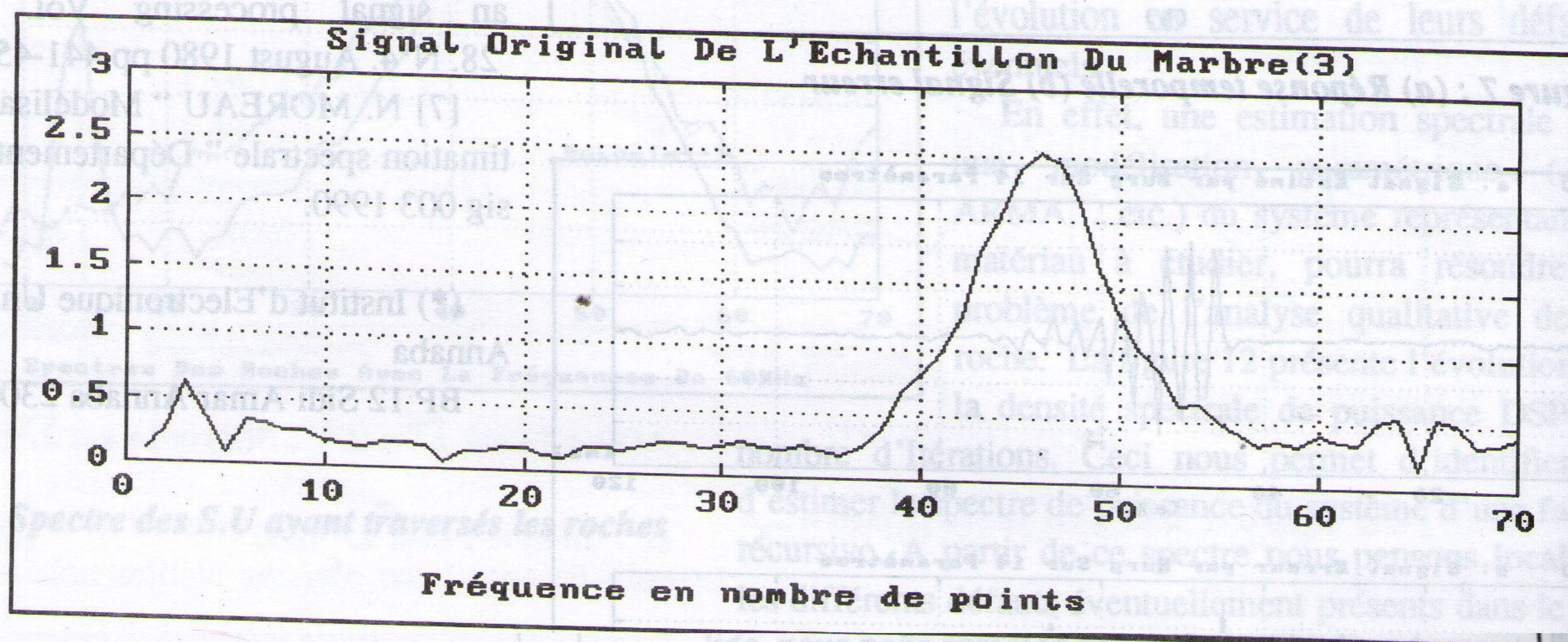


Figure 10 : Spectre original du Marbre-1

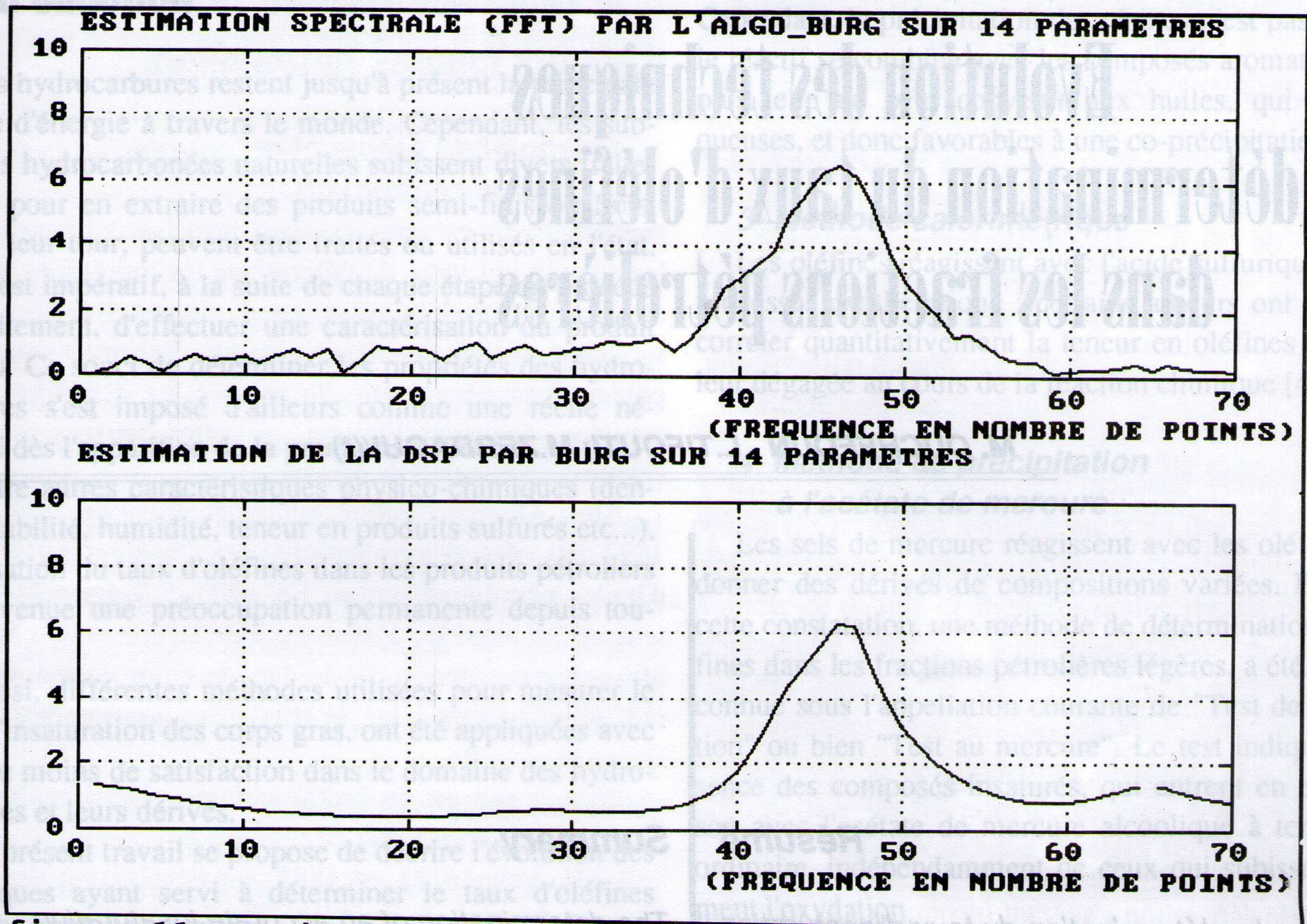


figure 11: Estimation Spectrale Par FFT et DSP (04).

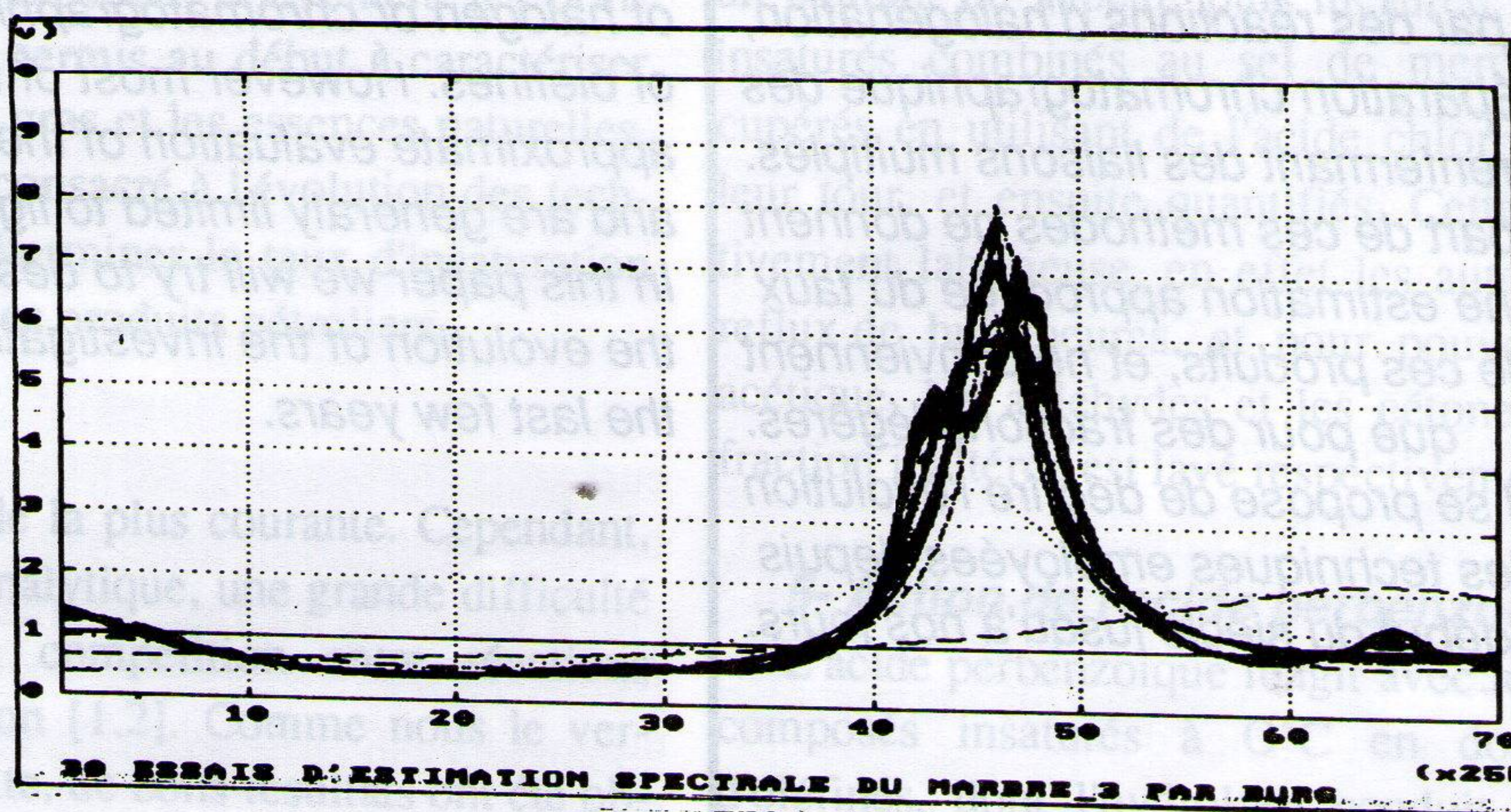


Figure 12 : 30 essais d'estimation spectrale du marbre-1.