

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 81 13433**

---

(54) Dispositif de corrélation en temps réel pour prospection sismique.

(51) Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). G 01 V 1/36.

(22) Date de dépôt..... 8 juillet 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 2 du 14-1-1983.

---

(71) Déposant : SOCIÉTÉ D'ÉTUDES, RECHERCHES ET CONSTRUCTIONS ÉLECTRONIQUES (SER-  
CEL), SA. — FR.

(72) Invention de : Claude Fleurance et Jean-Claude Naudot.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Regimbeau, Corre, Martin et Schrimpf,  
26, av. Kléber, 75116 Paris.

---

La présente invention concerne un dispositif de prospection sismique du sous-sol par vibration.

D'une manière en soi connue, on émet dans le sol, au moyen d'une source vibratoire, un signal dont le spectre couvre la gamme des signaux normalement transmis par le sous-sol. Un tel signal, appelé signal pilote, peut être par exemple une vibration de fréquence variable, généralement linéairement en fonction du temps, entre deux fréquences extrêmes.

Des capteurs sismiques, ou géophones, sont disposés en différents points de la surface du sol, et, par rapprochement entre le signal reçu par ces capteurs, appelé signal sismique, et le signal pilote, on obtient la réponse de sol, qui donne d'utiles indications sur la nature de celui-ci.

Ce rapprochement s'opère en général par intercorrélation entre le signal pilote et chacun des signaux sismiques.

Ainsi, si l'on appelle  $P(t)$  le signal pilote et  $S(t)$  le signal sismique reçu, la fonction d'intercorrélation de ces deux signaux est :

$$I(t) = \int_0^{\infty} P(x) \cdot S(t+x) dx$$

en pratique, on se limite à un signal pilote de durée  $\theta_p$  limitée, et on ne considère la fonction de corrélation que sur un intervalle de temps  $T$  limité, appelé "profondeur d'investigation". Dans ces conditions, l'expression précédente devient :

$$I(t) = \int_0^{\theta_p} P(x) \cdot S(t+x) dx \text{ avec } t \in (0, T)$$

S'agissant de signaux basse fréquence, la corrélation peut être effectuée de façon numérique. Ainsi, le signal pilote est mémorisé en échantillons pilotes  $P_i$  successifs, avec  $i = 1 \dots p$ ,  $p$  étant le nombre d'échantillons correspondant à la durée totale  $\theta$  du signal pilote, dite encore "longueur de vibration". Par exemple, pour une longueur de vibration de 30 secondes et un pas d'échantillonnage de 2 millisecondes,  $p = 15.000$  échantillons.

Pour leur part, chacun des signaux sismiques reçus est numérisé en échantillons successifs  $S_i$ , avec  $i = 1 \dots s$ , et avec  $s = p + N$ ,  $N$  étant le nombre d'échantillons correspondant à la profondeur d'investigation  $T$ . Par exemple, pour  $T = 5$  secondes,  $N = 2.500$  échantillons.  $s$  est dite "longueur d'acquisition".

On a donc  $s = 17.500$  échantillons  $S_i$  pour chaque signal sismique, et à chaque expérience effectuée. On peut déjà remarquer que ce nombre est très supérieur à celui  $N$  correspondant à la profondeur d'investigation.

La fonction d'intercorrélation devient alors :

$$I(t) = \sum_{i=1}^p P_i \cdot S_{i+t-1}, \text{ avec } t = 1 \dots N$$

Jusqu'à présent, ces échantillons des signaux sismiques étaient enregistrés sur bande magnétique, en vue d'un calcul ultérieur par un centre de traitement informatique, disposant de moyens de calcul et de moyens de mémoire suffisamment importants.

Dans l'exemple précité, à supposer que l'on travaille avec 96 voies sismiques, on voit qu'il est

nécessaire d'enregistrer, pour chaque expérience effectuée, outre le signal pilote,  $17.500 \times 96 = 1.680.000$  échantillons de signaux sismiques.

5 En outre, l'énergie émise dans le sol au cours  
d'une expérience étant faible, on effectue généralement  
plusieurs expériences répétées, en gardant la source et  
les capteurs au même emplacement, et avec le même signal  
pilote ; chaque nouvelle valeur mesurée est additionnée  
à la somme des mesures des précédentes expériences. En  
10 pratique, étant donné que jusqu'à présent il n'existait  
pas de moyens de calcul suffisamment puissants pour  
effectuer les opérations de corrélation sur le terrain, et  
étant donné qu'il aurait été prohibitif d'enregistrer  
les signaux obtenus lors de chacune des expériences, on  
15 cumulait les signaux obtenus par un même géophone au  
cours d'une même série d'expériences. Les travaux de  
corrélation étaient alors effectués, en temps différé,  
une seule fois sur le résultat de l'addition.

Cette manière de procéder, où la corrélation  
20 est effectuée après sommation, présente tout d'abord l'in-  
convénient de ne donner un résultat qu'à partir de  
valeurs globales, sans tenir compte des variations du  
signal pilote d'une expérience à l'autre. Une bonne  
précision impose un signal pilote parfaitement identique  
25 à lui-même tout au long des mesures.

Au contraire, une intercorrélation des signaux,  
à chaque mesure, avant sommation du résultat calculé,  
éliminerait les écarts constatés d'une expérience à  
l'autre. Elle présenterait surtout l'avantage de fournir,  
30 par le calcul en temps réel, un résultat immédiat dont  
la précision s'affinerait au fur et à mesure des expé-  
riences.

Le principal obstacle qui a jusqu'à présent empêché la mise en oeuvre d'une telle solution, est celui de la taille mémoire nécessaire pour effectuer les calculs : comme il s'agit de signaux de longue durée, le nombre  
5 d'échantillons à enregistrer tend à augmenter et il devient très difficile de dimensionner la mémoire, de nombreuses versions étant nécessaires en fonction de la longueur du pilote. Jusqu'à présent, ces contraintes ne permettaient pas de disposer d'un matériel de prospection sismique  
10 qui puisse être aisément déplacé et mis en oeuvre sur le terrain.

La présente invention propose un dispositif permettant d'effectuer la corrélation en temps réel, et avant sommation. Ce dispositif permet de s'affranchir  
15 complètement des variations de durée des signaux, en n'utilisant que des mémoires de longueur fixe et réduite, correspondant à la profondeur d'investigation désirée. Cette taille des mémoires est par conséquent totalement indépendante de la longueur d'acquisition, c'est-à-dire  
20 de la durée du signal pilote, qu'il devient possible de modifier très aisément en fonction des conditions opératoires.

A cette fin, et en conservant le symbolisme précédemment défini, le dispositif comporte une mémoire  
25 tampon de N échantillons du signal pilote, et, pour chaque voie sismique : une mémoire tampon pour un échantillon du signal capté, et une mémoire de résultat destinée à recueillir de manière cumulative le résultat du calcul d'intercorrélation sous forme des N sommes de produits  
30  $I(t)$ , avec  $t = 1 \dots N$ . Le dispositif comporte en outre un circuit d'adressage des mémoires pilote et de résultat et au moins un circuit de calcul, dans lequel on effectue les produits entre chacun des échantillons captés et N échantillons consécutifs du signal pilote.

Il est nécessaire en effet d'effectuer les calculs suivants :

$$\begin{array}{l}
 I(1) = S_1 \cdot P_1 + S_2 \cdot P_2 + S_3 \cdot P_3 + \dots + S_p \cdot P_p \\
 I(2) = S_2 \cdot P_1 + S_3 \cdot P_2 + S_4 \cdot P_3 + \dots + S_{p+1} \cdot P_p \\
 5 \quad I(3) = S_3 \cdot P_1 + S_4 \cdot P_2 + S_5 \cdot P_3 + \dots + S_{p+2} \cdot P_p \\
 \quad \vdots \\
 I(N-1) = S_{N-1} \cdot P_1 + S_N \cdot P_2 + S_{N+1} \cdot P_3 + \dots + S_{N+p-2} \cdot P_p \\
 I(N) = S_N \cdot P_1 + S_{N+1} \cdot P_2 + S_{N+2} \cdot P_3 + \dots + S_{N+p-1} \cdot P_p
 \end{array}$$

On n'oubliera pas que, dans les conditions qui sont celles de la corrélation de signaux sismiques, la valeur de la longueur de vibration  $s$  est très supérieure à celle de la profondeur d'investigation  $N$ .

Avantageusement, le circuit d'adressage du dispositif selon l'invention coopère, de la manière qui sera décrite plus bas, avec les circuits de calcul de façon à n'utiliser qu'une mémoire pilote de taille  $N$ , permettant une économie importante de taille mémoire qui rend le dispositif suffisamment compact pour être utilisable sur le terrain et en temps réel, à la différence des dispositifs actuels, où la corrélation ne peut être effectuée qu'en temps différé dans un centre de calcul.

Un dispositif réalisé conformément à l'invention, avec les caractéristiques décrites plus haut, des signaux échantillonnés sur 16 bits, et des résultats calculés sur 32 bits, ne nécessite qu'une mémoire de 9,65 Mbits, alors qu'un appareil classique, à précision égale, a besoin de 27 Mbits de mémoire d'acquisition, en plus d'un enregistreur magnétique et d'un traitement

en centre de calcul, dont la durée atteint couramment 17 heures pour un traitement des données correspondant à 100 mesures cumulées par jour.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée ci-dessous, faite en référence à la figure unique annexée, représentant un schéma-bloc du dispositif de corrélation selon l'invention.

10 On peut y voir un premier circuit 100, unique, comportant une mémoire MP de N échantillons du signal pilote et un circuit A d'adressage des mémoires du dispositif, et de commande des circuits de calcul. Ce circuit 100 reçoit le signal pilote P préalablement échantillonné, ainsi qu'un signal SYN permettant la synchroni-  
15 sation entre l'acquisition des données et le déclenchement des tirs.

Un circuit 200, correspondant à une voie sismique, existe en autant d'exemplaires qu'il existe de géophones. Un seul a été représenté sur la figure, tous les circuits  
20 200 étant identiques. Chaque voie comprend un registre sismique tampon RS recevant le signal S capté par le géophone, et une mémoire de résultat MR de N échantillons de la fonction de corrélation calculée de la voie correspondante. La lecture de cette mémoire fournit le signal R  
25 de résultat.

Enfin, un circuit de calcul 300 comporte un multiplieur MULT et un additionneur ADD. Ce circuit existe en au moins un exemplaire et au plus en autant d'exemplaires que de voies sismiques. En effet, l'emploi  
30 de circuits rapides permet d'avoir un circuit de calcul commun à plusieurs voies sismiques. Cette disposition autorise une importante économie de composants.

Il a été ainsi possible de réaliser un dispositif selon l'invention où un circuit de calcul est commun à deux voies sismiques (pour un pas d'échantillonnage de 2 ms) ou à quatre voies (pour un pas de 4 ms).

- 5 On économise ainsi la moitié (ou le quart) de ces composants, par rapport à une solution où chaque voie sismique aurait son propre circuit de calcul.

De préférence, pour parvenir à une précision accrue, les circuits de calcul opèrent en virgule flottante.

- 10 De façon connue, le circuit de multiplication flottante MULT comporte ainsi un circuit additionneur pour les exposants et un circuit multiplicateur pour les mantisses, et le circuit d'addition flottante ADD comporte un circuit décaleur et un circuit additionneur.

- 15 A chaque cycle d'acquisition, outre le signal SYN de synchronisation, le dispositif reçoit un échantillon  $P_i$  du signal pilote P et, sur chaque voie, un échantillon  $S_i$  du signal sismique S.

- 20 Au premier cycle, le dispositif reçoit les échantillons  $P_1$  et  $S_1$ , range l'échantillon  $P_1$  dans la première position de la mémoire pilote, position qu'on notera  $MP_1$ , effectue la multiplication  $S_1.P_1$  et range le résultat dans la première position de la mémoire résultat, position qu'on notera  $MR_1$ .

- 25 Au second cycle,  $P_2$  est rangé dans  $MP_2$ , la multiplication  $S_2.P_2$  est effectuée, le résultat est ajouté au contenu de la mémoire  $MR_1$ . Par ailleurs, la multiplication  $S_2.P_1$  est effectuée, et le résultat rangé dans  $MR_2$ .

- 30 On procède ensuite de la même manière au troisième cycle, de manière que  $MR_1$  contienne le résultat  $(S_1.P_1 + S_2.P_2 + S_3.P_3)$ ,  $MR_2 : (S_2.P_1 + S_3.P_2)$ , et  $MR_3 : S_3.P_1$ . Pour sa part, l'échantillon  $P_3$  est rangé dans  $MR_3$ .



Les opérations se poursuivent de la même façon tout le temps de l'acquisition.

Après le Ne cycle, la mémoire MP est pleine, et contient les échantillons  $M_1 \dots M_N$  du signal pilote, et la mémoire MR est entièrement remplie par les échantillons :

$$\begin{aligned} MR_1 &: S_1 P_1 + \dots + S_N P_N \\ &\vdots \\ MR_N &: S_N P_1 + \dots + S_{2N} P_N \end{aligned}$$

On constate que l'échantillon  $P_1$  a été employé dans les N sommes de produits déjà opérées. Il est désormais inutile pour achever les cumuls dans les N mémoires de résultat, où n'interviendront par la suite que les échantillons suivants  $P_2 P_3 \dots$

C'est pourquoi, et de manière caractéristique de l'invention, au lieu de continuer à ranger les échantillons suivants du signal pilote à la suite des précédents, le dispositif va substituer, au (N+1)e cycle, dans la mémoire  $MP_1$ , l'échantillon  $P_{N+1}$  à l'échantillon  $P_1$ , permettant de cette manière une utilisation optimale de la mémoire : grâce à ce dispositif à "mémoire circulante", seuls seront conservés les échantillons encore nécessaires, les nouveaux échantillons étant substitués au fur et à mesure de leur acquisition aux premiers échantillons devenus inutiles.

Ainsi, au (N+2)e cycle, on aura dans la mémoire MP les échantillons :

$$P_{N+1}, P_{N+2}, P_3, P_4 \dots P_N.$$

Le calcul se poursuit ainsi jusqu'au  $p^e$  cycle d'acquisition, où le cumul sera achevé dans les mémoires  $MR_1 \dots MR_N$ .

On constate d'une part que deux mémoires MP et

MR sont suffisantes pour faire fonctionner le dispositif, et que leur longueur N est fixe et très inférieure à la longueur d'acquisition s. D'autre part, par cycle d'acquisition, le nombre d'opérations élémentaires, additions et multiplications, est au maximum égal au nombre d'échantillons correspondant à la profondeur d'investigation N. Il est aisé de prévoir des circuits de calcul permettant d'effectuer ces calculs partiels dans l'intervalle de temps compris entre deux cycles d'acquisition, de manière à obtenir le résultat final en temps réel, dès l'achèvement du dernier cycle, en s'affranchissant en outre totalement de la durée de l'acquisition.

Pour la sommation des résultats de corrélation d'une série d'expériences répétitives fournissant des mesures faibles, il suffit de répéter l'opération précédemment décrite, en conservant dans la mémoire MR les résultats de la précédente expérience. Le cumul des résultats corrélés se fait au fur et à mesure des expériences, en éliminant les imprécisions dues aux variations du signal pilote à chaque répétition, car la corrélation est effectuée en temps réel avec la valeur instantanée du signal pilote, à la place d'une valeur moyenne unique.

Il est bien évident que la description qui précède n'est donnée qu'à titre d'exemple de réalisation et n'a aucun caractère limitatif, et que de nombreuses variantes de structure ou de réalisation peuvent être envisagées sans pour autant sortir du cadre de la présente invention.

REVENDECATIONS

1. Dispositif de prospection sismique du sous-sol par vibration, du type comprenant :

- . une source de vibrations contrôlées,
- . au moins un capteur sismique,
- 5 . des moyens pour exciter la source par un signal pilote,
- . des moyens de numérisation du signal pilote en échantillons pilotes successifs,
- . des moyens de numérisation du signal reçu par le
- 10 capteur en échantillons captés successifs, et
- . des moyens d'enregistrement numérique des signaux relatifs aux échantillons pilotes et captés, caractérisé en ce que,

N étant le nombre d'échantillons associé au temps T correspondant à la profondeur d'investigation désirée,

15 le dispositif comporte en outre :

- . une mémoire tampon (MP) de N échantillons du signal pilote (P),
- . au moins une mémoire tampon (RS) pour un échan-
- 20 tillon du signal capté (S),
- . au moins un circuit de calcul (300) dans lequel on effectue des produits entre chaque échantillon capté et N échantillons consécutifs du signal pilote,
- . au moins une mémoire de résultat (MR), dans laquelle
- 25 on introduit cumulativement les N sommes de produits respectivement associées à des corrélations à écart de temps variable entre le signal capté et le signal pilote,
- . un circuit d'adressage (A) des mémoires pilote et de résultat, coopérant avec lesdits circuits de calcul.

30 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque circuit de calcul est susceptible d'opérer en virgule flottante.

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque circuit de calcul (300) est commun à deux voies sismiques (200).

5 4. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2 , caractérisé en ce que chaque circuit de calcul (300) est commun à quatre voies sismiques (200).

