

QUATRIEME COLLOQUE SUR LE

TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 7 au 12 mai 1973

QUELQUES ASPECTS DU PROBLEME POSE PAR LE TRAITEMENT D'ENREGISTREMENTS SISMIQUES EN ONDES TRANSVERSALES

F. COPPENS et P.C. LAYOTTE

(Institut Français du Pétrole)

RESUME

Dans le cadre des travaux sismiques en ondes transversales, on est amené à s'intéresser aux composantes de ces ondes qui sont polarisées horizontalement, et dont la direction est perpendiculaire au profil.

Une particularité caractéristique de ces ondes consiste en ce que la phase des vibrations varie avec la direction des forces qui les engendrent. On utilise cette propriété pour favoriser les ondes transversales polarisées horizontalement et pour atténuer les ondes de type différent. En effet, les ondes parasites qu'il s'agit d'atténuer par rapport aux ondes utiles, peuvent être classées en deux catégories.

Dans la première, on trouve des ondes de même nature que les ondes transversales utiles, c'est-à-dire essentiellement des ondes de surface, par exemple les ondes de Love qui pré-

SUMMARY

In many of the techniques concerned with the use of the shear-waves seismics, attention is centered on SH components.

One of the criteria useful for the identification of these waves, is their polarization. Advantage is taken of the fact that the SH waves can be expected to change their phase when the direction of transverse source is altered. When a shear-wave source is used, two types of noise waves can be expected.

The first type is mainly concerned with surface waves (such as Love waves) which are polarized by the source. Conventional filters are used for these types of events.

The second type is concerned with longitudinal waves, converted waves, etc... which are not polarized according to the direction of action of the source.

.../...



TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 7 au 12 mai 1973

QUELQUES ASPECTS DU PROBLEME POSE PAR LE TRAITEMENT
D'ENREGISTREMENTS SISMIQUES EN ONDES TRANSVERSALES

F. COPPENS et P.C. LAYOTTE

(Institut Français du Pétrole)

(suite)

RESUME sentent les mêmes propriétés quant à la phase, que les ondes utiles. L'atténuation relative pourra en être faite par les procédés courants de filtrage utilisés habituellement pour les ondes longitudinales.

Dans la deuxième catégorie se trouvent les bruits constitués par les ondes longitudinales, les ondes de conversion et d'autres types d'ondes qui ne possèdent pas la propriété de variation de phase énoncée plus haut.

La présence de ces parasites dont l'atténuation ne peut être faite par les procédés classiques de filtrage justifie les recherches effectuées sur le traitement des ondes transversales dont quelques exemples sont présentés ici.

Ces exemples de traitement relatifs à des documents de provenance et de nature différentes, montrent bien que l'on peut atténuer sensiblement le bruit de deuxième catégorie et par là même renforcer les ondes transversales utiles.

SUMMARY

Some studies of filtering of this second type of noise are presented here. The results of these investigations indicate that reasonably pure SH waves may be obtained by the application of specific filters to the record.

Introduction

Le traitement du signal dont nous nous occupons présentement prend place dans une étude générale dont l'objet est la propagation des ondes transversales dans des milieux réels constitués par les premières couches de l'écorce terrestre. Les exemples traités se rapportent à des documents obtenus par une technique de sismique en ondes transversales.

Rappelons brièvement l'objet de la sismique ; quand on provoque un choc dans un milieu quelconque, il se déforme. La déformation obtenue se propage de proche en proche en s'éloignant du point origine et en s'amortissant. L'étude de ces déformations est précisément l'objet de la sismique. Les vitesses de propagation des déformations ainsi obtenues sont liées aux caractéristiques mécaniques de la matière. En fait elles dépendent également de la nature de la déformation que subit le milieu considéré. Nous ne retiendrons que deux aspects de la déformation permettant de caractériser les vitesses de propagation du milieu :

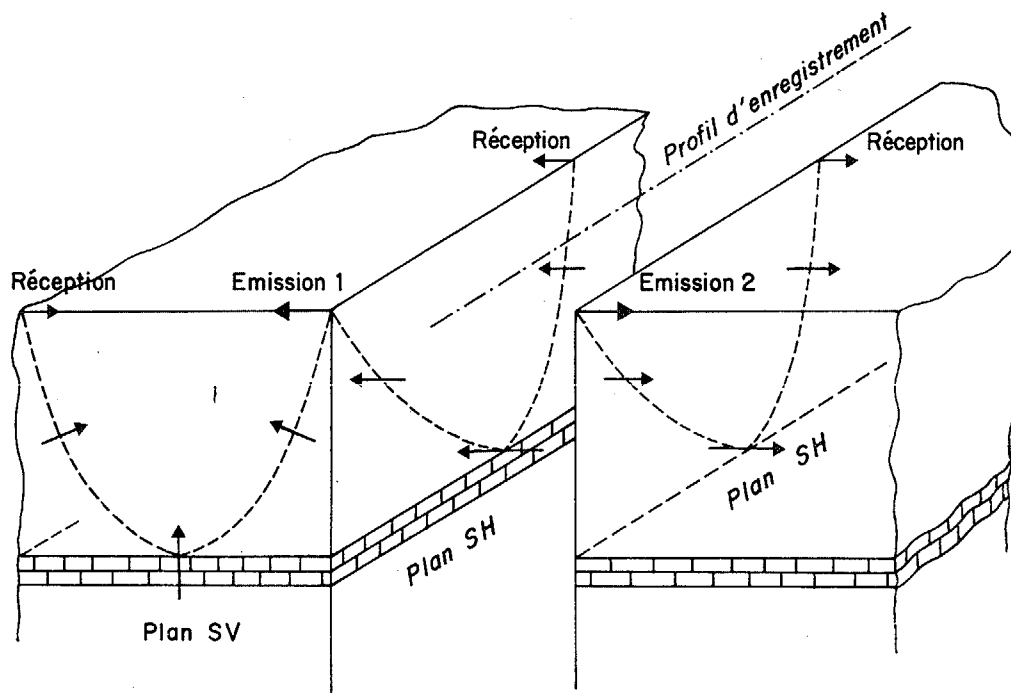
- V_l la vitesse des ondes longitudinales ou de compression dites P.
- V_t la vitesse des ondes transversales ou de cisaillement pour lesquelles la déformation du milieu est perpendiculaire à la direction de propagation, dites S.

Les vitesses longitudinales et transversales sont des paramètres relativement fidèles pour un milieu géologiquement bien défini. L'expression de la valeur de ces vitesses peut être reliée facilement à certains paramètres mécaniques du milieu considéré. Par exemple, le carré du rapport de ces vitesses s'exprime de façon simple en fonction du coefficient de Poisson σ qui est le quotient entre la contraction latérale et l'extension longitudinale d'un cylindre soumis à une tension axiale :

$$\left(\frac{V_l}{V_t}\right)^2 = \frac{2(1 - \sigma)}{1 - 2\sigma}$$

Il n'est pas inutile de préciser un peu le problème d'enregistrement de ces déformations dans le cadre de la sismique en ondes transversales. Nous avons vu qu'en ce qui concerne ces dernières, la déformation a lieu perpendiculairement à la direction de propagation.

La figure 1 nous permet de définir deux composantes de ces déformations ; on a représenté sur la figure deux trajets réfléchis au moyen de tiretés tandis que le mouvement des particules du sol perpendiculaire au rayon est schématisé par des flèches. On peut ainsi distinguer les composantes SH où le mouvement des particules se fait dans un plan perpendiculaire au plan vertical de propagation et les composantes SV où ce mouvement a lieu dans le plan vertical de propagation. Les



ONDES TRANSVERSALES COMPOSANTES SV ET SH

Figure 1

composantes d'ondes transversales SH, polarisées horizontalement, présentent pour les géophysiciens une particularité intéressante. Dans la mesure où les couches de terrain intéressées sont symétriques par rapport au plan vertical de propagation, ces composantes SH ne se convertissent pas, à l'occasion de discontinuités géologiques en d'autres types d'ondes contrairement aux ondes longitudinales ou aux composantes transversales SV. Or, si certains soins ne sont pas pris lors de l'émission, une réception sélective des composantes transversales SV peut conduire à des erreurs d'interprétation liées aux phénomènes de conversion d'ondes de type P en ondes de type SV par exemple. La figure 2 permet de comparer sur une même portion de profil l'enregistrement d'ondes longitudinales d'une part, et de composantes d'ondes transversales de type SV d'autre part, provoquées par un même point de tir. Bien que des corrélations soient possibles sur certains niveaux strati-

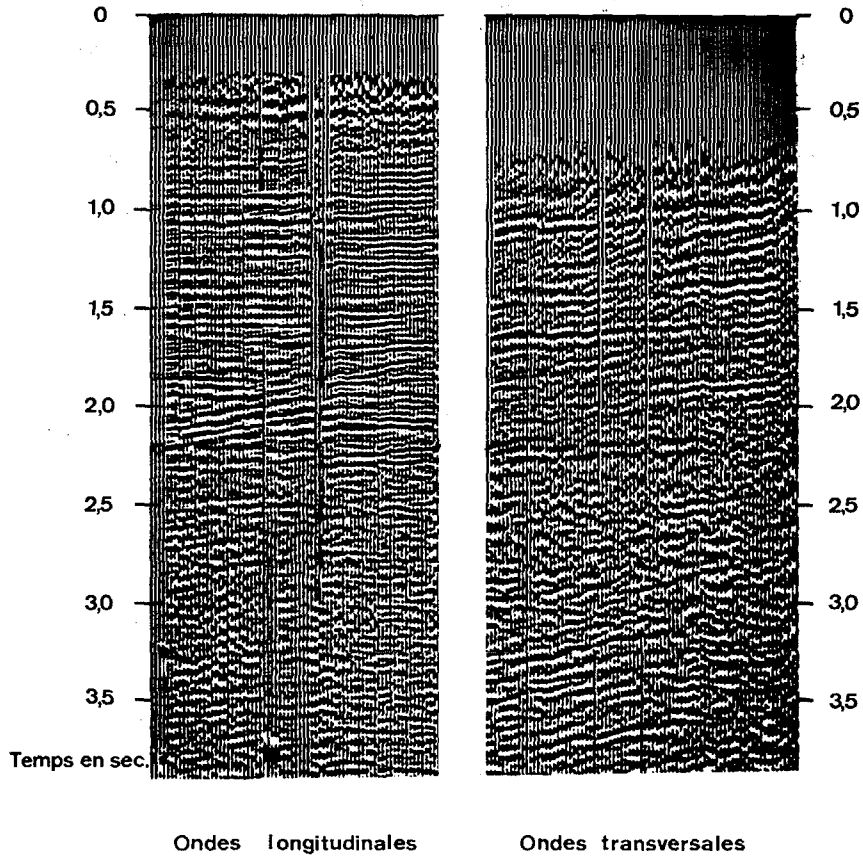


Figure 2

graphiques, il reste des incertitudes liées au phénomène de conversion dont nous avons parlé plus haut. Il est donc pratiquement nécessaire pour le géophysicien de détecter les composantes transversales du type SH. Pour améliorer le rendement de la détection d'ondes transversales pures, on utilise une propriété de ces types d'ondes qui consiste en ce que la phase des vibrations varie avec la direction des forces qui les engendrent. La façon la plus usuelle de procéder à l'enregistrement des composantes du type SH des ondes transversales est la suivante : on procède, avec une source, à l'émission de deux contraintes orientées dans le sol ou à la surface de celui-ci, ces émissions fournissant donc deux enregistrements différents. Il est pratique de choisir des directions opposées pour exercer ces forces, ce qui entraîne, avec une direction de détection fixe, une inversion de phase des ondes transversales utiles, d'un enregistrement par rapport à l'autre, dont il suffira de faire la différence pour améliorer la détection de ces



ondes utiles. Le mouvement des particules du sol provoqué par des contraintes polarisées horizontalement est représenté sur la figure 1 par "émission" 1 ou 2 suivant le sens de polarisation. La réception se fait dans le plan de l'émission au moyen de géophones dont l'axe de sensibilité est horizontal et parallèle à l'axe des contraintes émises. Les géophones sont disposés le long du profil d'enregistrement dont la direction est perpendiculaire à celle d'émission. Cette technique d'exploitation est couramment utilisée par les géophysiciens soviétiques.

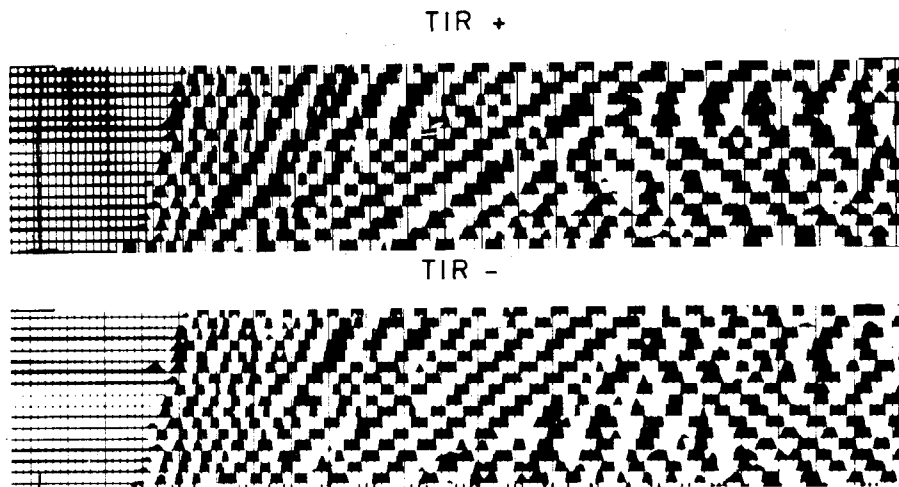
Sur les tirs élémentaires correspondant à une direction d'émission se trouvent à la fois des ondes utiles de type SH reconnaissables par leur opposition de phase si les directions d'émission étaient opposées, et du bruit qu'il va falloir atténuer.

Les ondes parasites constituant ce bruit peuvent être classées en deux catégories. Dans la première, on trouve des ondes de même nature que les ondes utiles, c'est-à-dire essentiellement des ondes de surface et des ondes de Love canalisées dans une couche superficielle, ayant bien entendu la propriété d'inversion de phase. Ces ondes, dont les trajets sont plus ou moins parallèles à la surface du sol, ne constituent pas en général une information pour le géophysicien. Leur atténuation pourra être faite par les procédés courants de filtrage en nombre d'onde utilisés de façon classique dans le cadre de la sismique en ondes longitudinales.

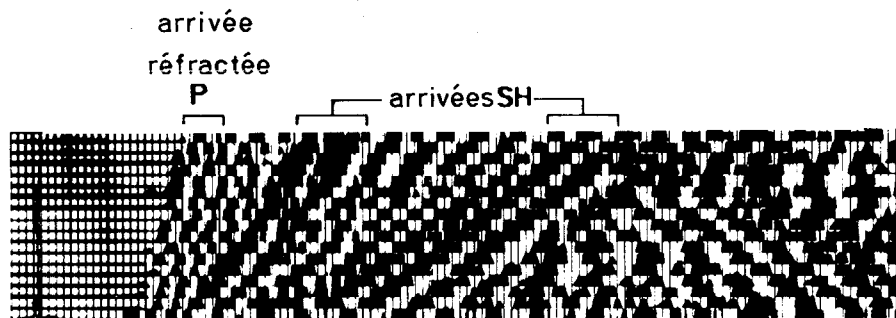
La deuxième famille de bruits est constituée par des ondes longitudinales émises par la source dont la pureté n'est jamais très élevée, par des ondes de conversion de type $P \rightarrow SV$ ou $SV \rightarrow P$, ces ondes ne possédant pas la propriété d'inversion de phase évoquée plus haut. L'atténuation de ce dernier genre de bruit ne peut être faite par les procédés courants de filtrage et c'est précisément leur présence qui a justifié les recherches effectuées sur le traitement des ondes transversales dont nous allons exposer quelques exemples.

Traitement des enregistrements

Avant de passer à l'exposé du traitement proprement dit, rappelons par un exemple illustré par la figure 3, la façon dont se pose le problème. On dispose de deux tirs élémentaires appelés respectivement tir + et tir -, correspondant à deux directions opposées d'émission et à une direction fixe de détection. La figure 3 a pour but de montrer comment se caractérisent les événements à filtrer et l'information utile. Cette dernière appelée arrivée SH est en opposition de phase sur les deux tirs élémentaires. La superposition optique des deux enregistrements au bas de la figure montre le renforcement des noirs à l'emplacement des événements en opposition de phase. L'information à filtrer, c'est-à-dire tout le reste de l'enregistrement, constituée ici par l'arrivée réfractée



Films élémentaires issus de deux tirs de polarités opposées



Superposition des deux films

les arrivées SH sont en opposition de phase

Figure 3

en ondes longitudinales, des propagations de type P du bruit de surface et du bruit aléatoire, ne possédant pas la propriété d'inversion de phase, n'est pas renforcée, de ce fait, par la superposition optique.

Lors du traitement des enregistrements en ondes transversales, nous nous bornerons à la recherche des événements en opposition de phase, que ce soient des arrivées réfléchies, réfractées, ou de bruit.



Etant donnée la mise en oeuvre de terrain prévue pour l'émission des ondes transversales, l'idée première de traitement consiste à faire la différence des deux enregistrements + et - obtenus. Les arrivées en opposition de phase vont donc s'additionner et les arrivées en phase se soustraire. C'est en fait la base du traitement, et tout ce qui sera fait en plus sera destiné à améliorer la soustraction des arrivées en phase et l'addition des arrivées en opposition de phase.

Pour arriver à une soustraction la meilleure possible, nous disposons de différents types de traitement, comportant une partie commune qui est le calage en amplitude des enregistrements.

Calage en amplitude

Il est apparu qu'il est important pour la soustraction de procéder à un calage en amplitude des événements à soustraire, en l'occurrence, les arrivées P. Il est bien évident que si les événements à soustraire n'ont pas la même amplitude, il en subsistera un résidu après différence.

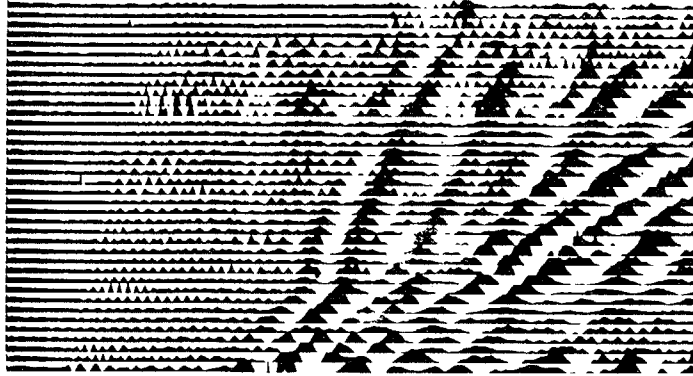
Ce calage, pour être valable, doit donc être mesuré sur les arrivées P seulement, puisque ce sont celles-ci qu'il s'agit d'annuler. En fait, il semble qu'un calage approché sur les arrivées S, dans le cas d'enregistrements où il y a peu d'arrivées P organisées, soit une approximation suffisante. Ce calage consiste à mesurer l'amplitude moyenne des événements dans un secteur donné sur chaque enregistrement + et -, et à ramener l'amplitude de la trace - à celle de la trace +, en multipliant chaque échantillon de la trace par le rapport des amplitudes.

Bien que l'on puisse penser qu'un calage moyen pour toutes les traces d'un même tir soit suffisant, nous l'effectuons pour chaque trace. En effet, les différences d'amplitudes entre les traces peuvent être dues à plusieurs raisons. D'une part les différences de rendement des points de tir, puisque les deux enregistrements correspondent à des tirs différents, qui introduisent une différence d'amplitude identique pour toutes les traces d'un même tir, d'autre part, les réponses des systèmes de contrôle de gain dans le cas d'enregistrement analogique, qui dépendent des événements précédents pour une arrivée donnée et qui par suite du bruit aléatoire, provoquent des différences d'amplitude pour chaque trace.

La figure 4 montre l'effet de ce calage sur la soustraction. Les deux enregistrements + et - ont été soustraits d'abord sans calage, ensuite avec un calage en amplitude sur les arrivées situées entre 100 et 600 μ s. Le calage en amplitude, qui est un élément important du traitement, est inclus dans tous les différents traitements exposés ci-après.



DIFFERENCE SANS CALAGE DES AMPLITUDES



DIFFERENCE AVEC CALAGE DES AMPLITUDES

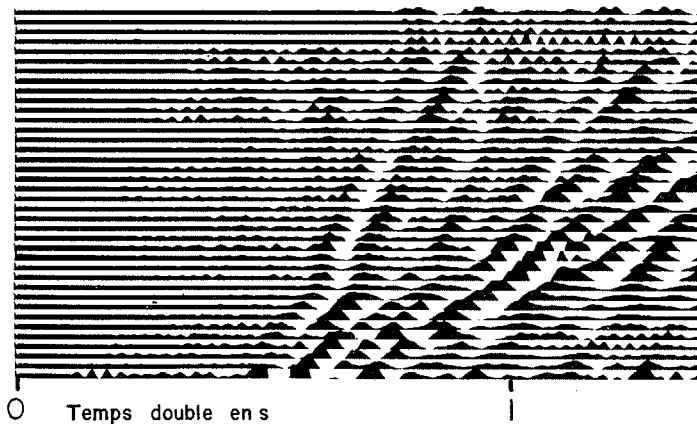
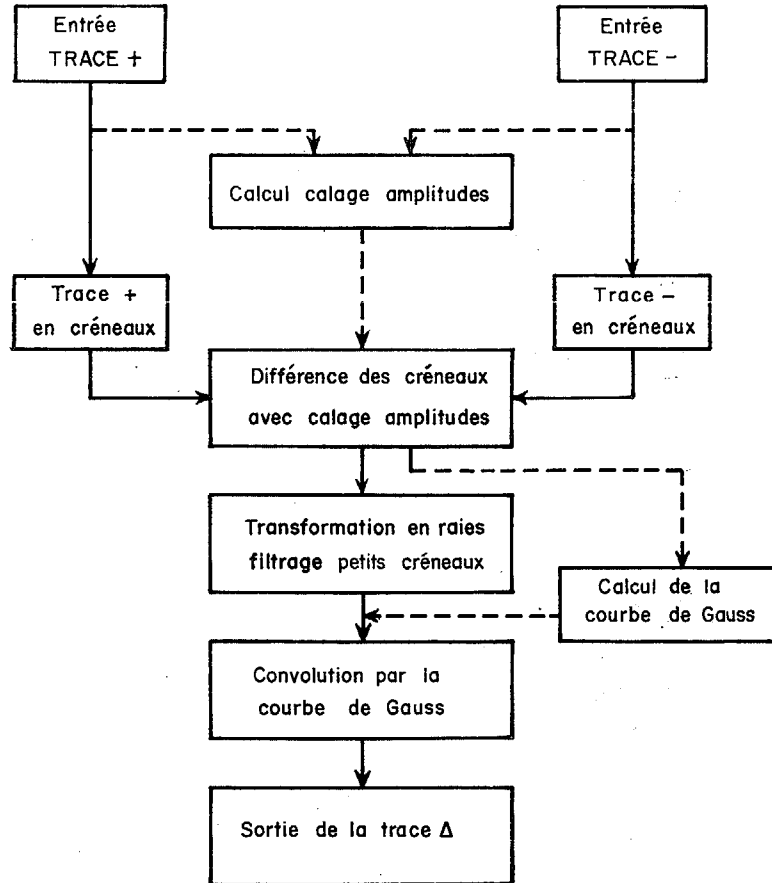


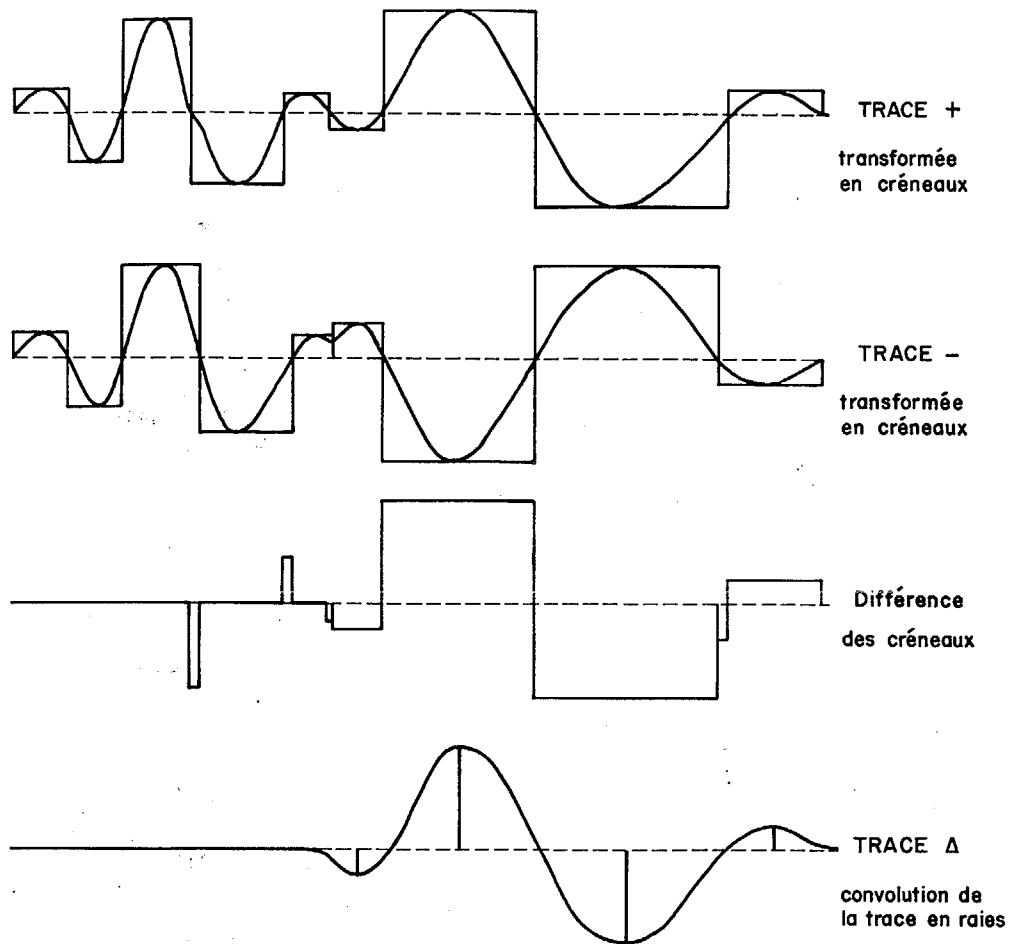
Figure 4

Il est clair, sur cet exemple, que le calage en amplitude apporte une atténuation relative des événements constituant la partie gauche de l'enregistrement, événements de type P qui ont une vitesse de propagation inférieure à celle des événements S, ainsi qu'un affaiblissement du bruit aléatoire à haute fréquence de la partie supérieure de la figure.



ORGANIGRAMME SIMPLIFIE DU TRAITEMENT CRENEAU

Figure 5



SCHEMA DE PRINCIPE DU TRAITEMENT CRENEAU

Figure 6



Traitement CRENEAU

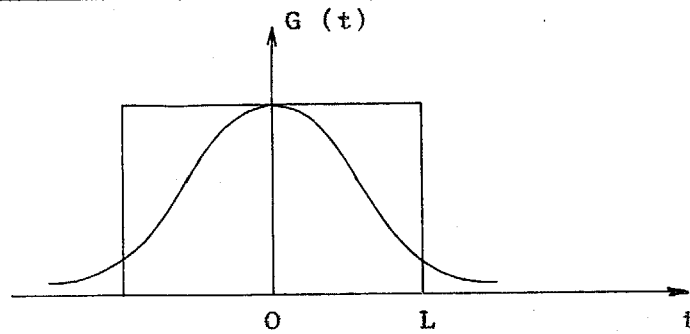
Du fait du bruit aléatoire existant sur les enregistrements, les arrivées P que l'on veut soustraire, même si elles sont calées en amplitude, peuvent ne pas avoir la même forme, et il subsiste donc des résidus gênants après différence. Il semble donc souhaitable de simplifier les traces enregistrées de façon à éliminer les effets des différences de forme : c'est le but du traitement CRENEAU dont l'organigramme simplifié est donné par la figure 5 et un schéma de la transformation par la figure 6. Dans ce traitement, chaque trace est, avant soustraction, transformée en une suite de créneaux de largeur et d'amplitude égales à chacune des arches du signal. On effectue la soustraction des traces en créneaux et on obtient une trace différence qui est elle-même sous forme de créneaux. Le filtrage des résidus consistera à éliminer les créneaux de largeur inférieure à un seuil que l'on se donne a priori. En général, on considère que les créneaux de largeur inférieure ou égale au double du pas d'échantillonnage des traces sont à éliminer.

Le problème consiste ensuite à donner à cette trace en créneaux une allure sismique, c'est-à-dire à revenir à une trace analogue à celles dont on est parti. Pour cela, nous avons essayé plusieurs types de restitution, dont l'un des meilleurs semble être le suivant : on passe de la trace différence en créneaux à une trace en raies où l'on remplace chaque créneau par un échantillon de même amplitude et ayant pour abscisse le milieu du créneau. On convolue ensuite cette trace en raies par une courbe de Gauss dont la formule est liée à la moyenne de la largeur des créneaux, c'est-à-dire à la fréquence principale de la trace. Si L est la moitié de la largeur moyenne des créneaux, on fixe la valeur de la fonction de Gauss suivante G (t) pour t = L.

$$G(t) = \frac{1}{E \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2E^2}}$$

$$\text{on pose : } S = \frac{G(L)}{G(0)} = e^{-\frac{L^2}{2E^2}}$$

$$\text{d'où : } E = \sqrt{\frac{-L^2}{2 \text{Log } S}} \quad \text{où Log } S \text{ est le logarithme népérien de } S$$



La figure 7 où $S = 0,1$ représente le détail du traitement CRENEAU sur une trace enregistrée à 70 m du point de tir; la figure 8 montre le même traitement sur une trace enregistrée à 710 m du point de tir.

Sur ces figures, l'efficacité du traitement CRENEAU peut être évaluée par la comparaison de la différence simple des deux traces originales et de la différence après traitement en créneau des deux mêmes traces, respectivement, la deuxième et la dernière trace de la figure. En ce qui concerne la figure 7 où la trace est proche du point de tir, il est aisé de voir que l'amplitude des événements SH situés à 640 ms et à 750 ms a été nettement renforcée par rapport à celle des événements longitudinaux de très forte élongation originale; il en est de même pour l'arrivée à 1100 ms. Incontestablement, la détection des événements utiles est facilitée par le passage en créneaux. Il existe cependant un problème de fidélité à la trace originale, au niveau de la restitution, dont nous reparlerons plus tard.

Sur la figure 8, reprenant les mêmes comparaisons à une distance plus grande du tir, on peut faire les mêmes observations. Après traitement, les événements utiles SH situés à 640 ms, 880 ms et à 1140 ms sont renforcés et tous les événements parasites résidus d'ondes P entre 640 et 800 ms ainsi que ceux dont le temps d'arrivée est postérieur à 1200 ms sont très atténués.

Différents systèmes de restitution de la trace différence en créneau, autres que la convolution par la courbe de Gauss, ont été essayés, mais en fait, toutes ces méthodes ont l'inconvénient de ne pas respecter les fréquences des traces d'origine, et, si le résultat de la différence en créneaux est très satisfaisant, le retour à une trace normale pose des problèmes difficiles à résoudre. C'est pourquoi nous avons cherché une autre méthode de soustraction qui tienne mieux compte des traces d'origine, et c'est celle qui est appliquée dans les traitements DIFEZEC. La figure 9 permet de comparer le traitement CRENEAU et le traitement DIFEZEC sur un même document original. On peut constater une meilleure restitution des fréquences avec le traitement DIFEZEC.

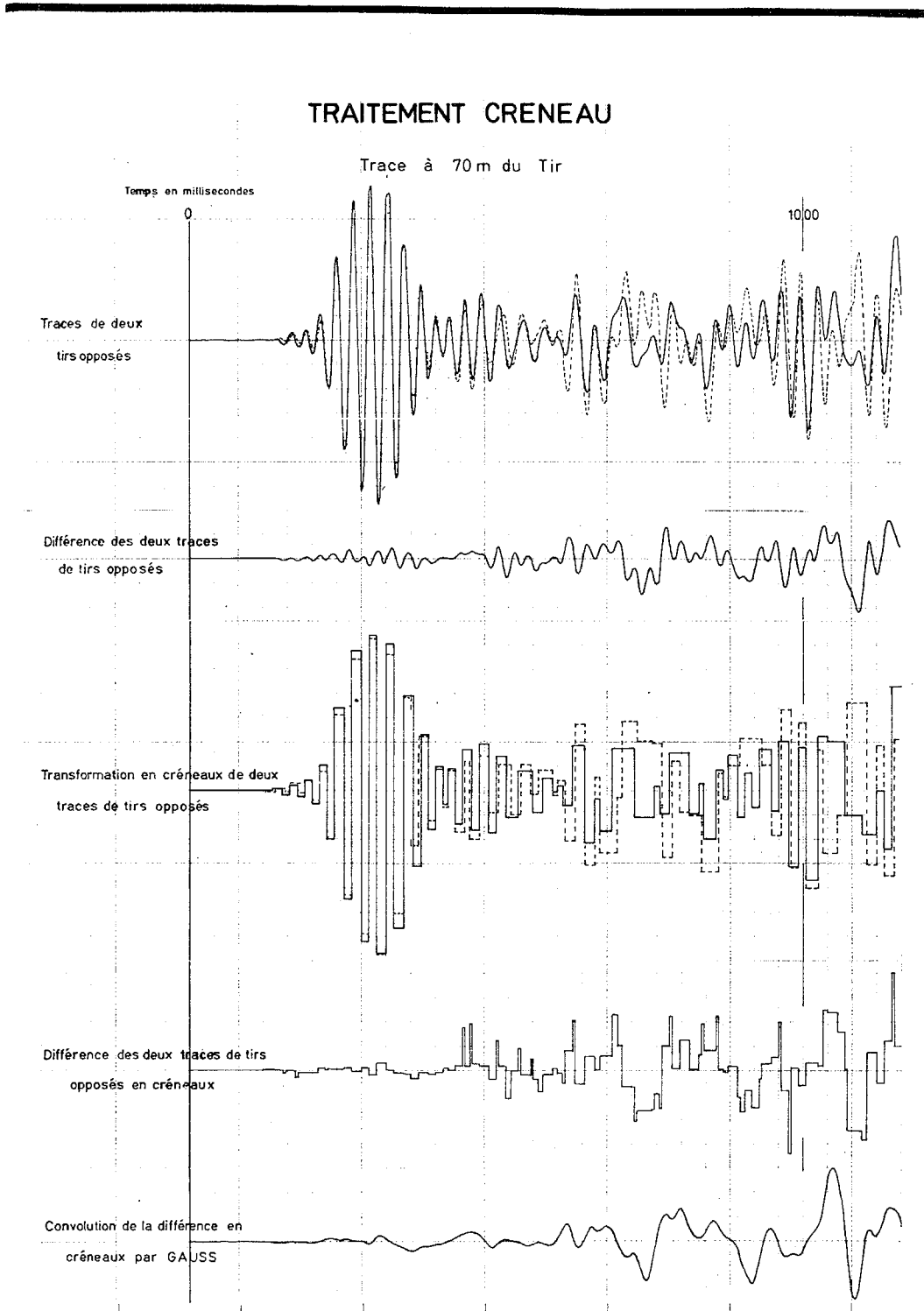


Figure 7



TRAITEMENT CRENEAU

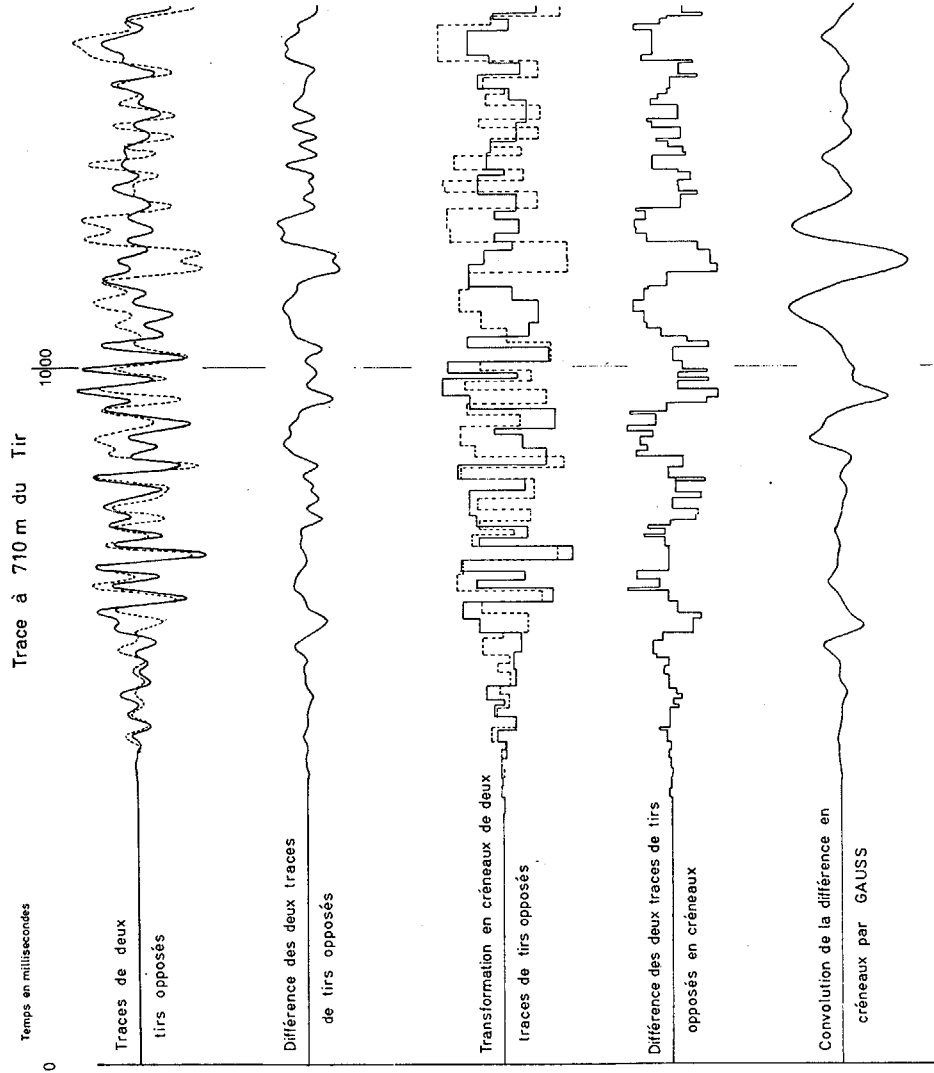
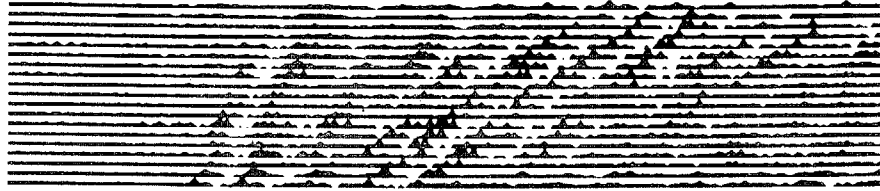


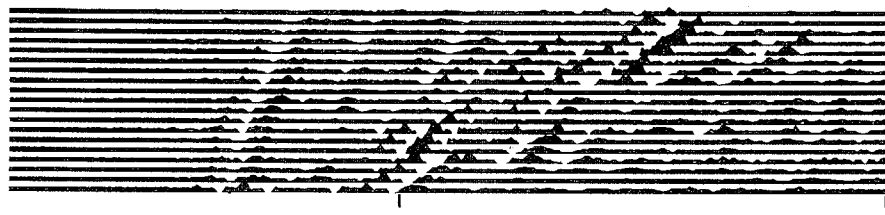
Figure 8



TRAITEMENT CRENEAU



TRAITEMENT DIFEZEC



Temps double en s

2

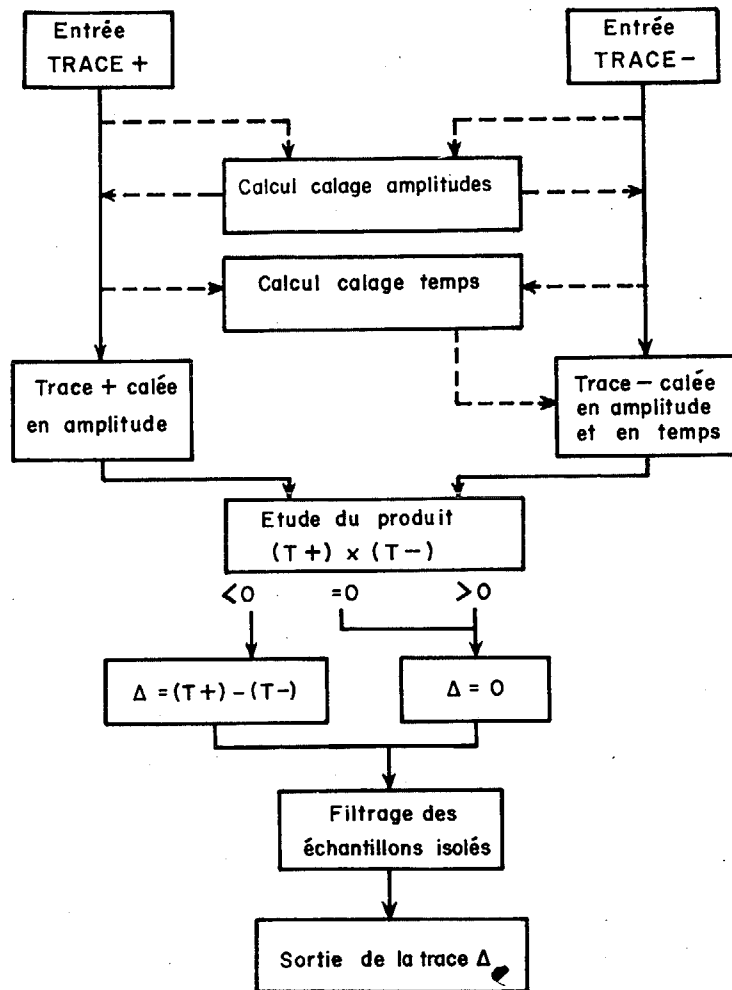
Figure 9

Traitement DIFEZEC

L'idée de base de ce traitement est que si deux échantillons sont de même signe sur les enregistrements + et -, ils correspondent à des événements en phase, et que le meilleur moyen de les éliminer est de les annuler à la soustraction. Au cours de la soustraction des deux traces, on va donc tester les signes des échantillons et mettre à zéro tous les échantillons de même signe, de façon à ne conserver que les événements en opposition de phase. Cette méthode, pour un peu brutale qu'elle soit, a l'avantage de ne conserver que des événements dont on est certain de l'opposition de phase et constitue donc un filtrage sélectif dont on peut être sûr.

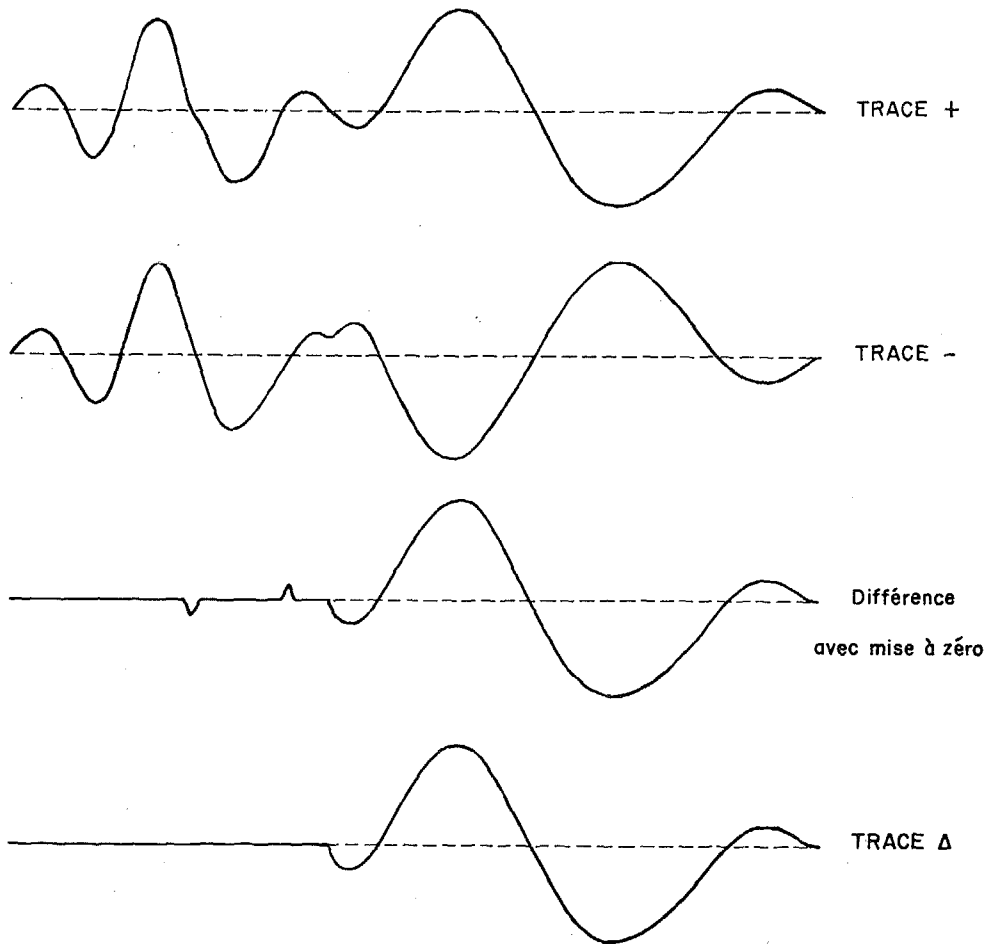
Dans ce type de traitement, de même que pour le traitement CRENEAU, il est nécessaire d'effectuer ensuite un filtrage des résidus, qui sera fait en annulant sur la trace différence toutes les valeurs non nulles isolées entre des zéros, correspondant à un très léger déphasage entre les événements P à soustraire. Ce filtrage a été effectué sur tous les exemples montrés ici.

Le traitement DIFEZEC existe actuellement sous deux formes différentes, suivant les événements existant sur les enregistrements.



ORGANIGRAMME SIMPLIFIE DU TRAITEMENT DIFEZEC

Figure 10



**SCHEMA DE PRINCIPE
DU TRAITEMENT DIFEZEC**

Figure 11



DIFEZEC 4

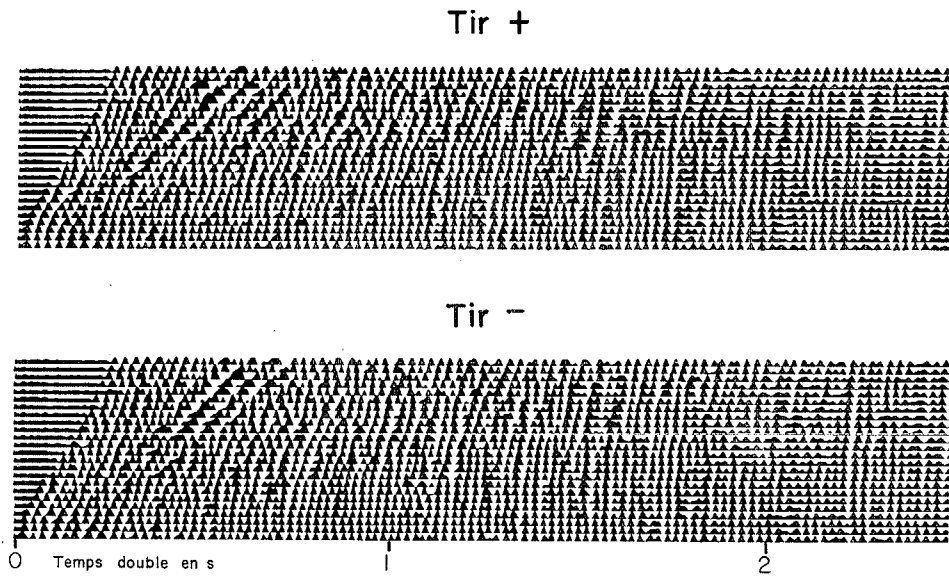
Ce traitement, dont l'organigramme simplifié est donné sur la figure 10 et un schéma de principe par la figure 11, est plus précisément destiné à traiter des enregistrements comportant une grande quantité d'arrivées P organisées. La figure 12 montre un tel type d'enregistrements, où l'on a de la difficulté à discerner les arrivées S sur les tirs élémentaires, tant les arrivées P ont d'amplitude. Il est nécessaire pour bien soustraire les arrivées P, qu'elles soient non seulement calées en amplitude, mais aussi en temps. En effet, la mise à zéro exige que les événements P à soustraire soient bien en phase sur les traces + et -, puisque l'on va comparer leur signe.

Le calage en temps est effectué trace par trace par corrélation entre deux secteurs identiques sur les traces + et -, secteurs choisis dans une zone où l'on est sûr de n'avoir que des arrivées P, c'est-à-dire au début des traces, avant les premières arrivées S. Le décalage du pic de corrélation par rapport au zéro donne la valeur du temps de décalage à apporter à chaque trace - par rapport à chaque trace +.

Du fait du bruit aléatoire, les valeurs de décalage données par les corrélations peuvent ne pas être toutes bonnes, certaines peuvent être aberrantes. Pour des raisons analogues à celles que l'on a vues à propos du calage en amplitude, on estime qu'elles ne doivent pas trop s'éloigner d'une valeur moyenne correspondant pour deux tirs différents + et - à un décalage dû aux constantes de tir. Il est donc nécessaire d'effectuer un filtrage des valeurs obtenues, en tenant compte des fréquences des arrivées P.

En fait, on commence par éliminer dans le groupe des valeurs correspondant à un point de tir, les valeurs écartées de la valeur moyenne des décalages de + la période des arrivées P. On refait une nouvelle moyenne avec les valeurs conservées et on élimine de nouveau toutes les valeurs écartées de la nouvelle moyenne de + la demi-période des arrivées P. On applique à chaque trace sa valeur de décalage donnée par corrélation, si elle n'a pas été éliminée. Pour les traces dont les valeurs ont été jugées mauvaises, on appliquera le décalage correspondant à la dernière moyenne effectuée. On décale donc la trace - par rapport à la trace +, avec interpolation entre échantillons, si la valeur de décalage n'est pas un multiple du pas d'échantillonnage.

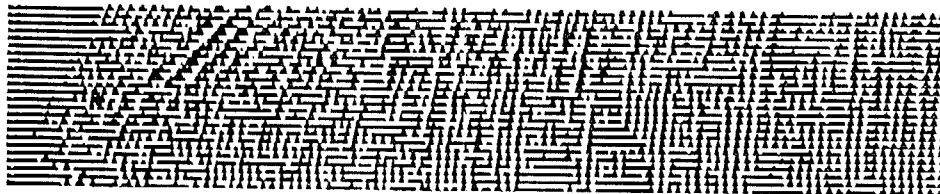
La figure 13 montre l'effet de ce calage en temps. Sur les mêmes enregistrements, le traitement DIFEZEC a été appliqué sans et avec calage en temps. On peut constater l'efficacité de filtrage obtenue sur les arrivées P se trouvant au début du tir avant la première arrivée S, ainsi que l'épuration résultante sur l'ensemble de l'enregistrement sur les réflexions S. Le traitement DIFEZEC 4 constitue donc un bon



ENREGISTREMENTS ELEMENTAIRES
EN ONDES TRANSVERSALES

Figure 12

TRAITEMENT DIFEZEC 4 SANS CALAGE EN TEMPS



TRAITEMENT DIFEZEC 4 AVEC CALAGE EN TEMPS

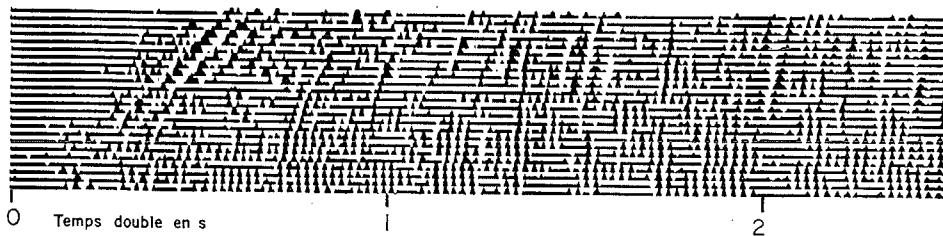


Figure 13



outil de filtrage des arrivées P organisées résiduelles sur les enregistrements en ondes transversales. Lorsque ces enregistrements ne comportent pas beaucoup d'arrivées P organisées mais un fort niveau de bruit aléatoire, la corrélation n'est évidemment pas possible, et on est amené alors à utiliser un autre type de traitement qui est le DIFEZEC 5.

DIFEZEC 5

Si le DIFEZEC 4 avait pour but la mise en relief des arrivées S, par atténuation des arrivées P, le DIFEZEC 5 cherche à renforcer au maximum les arrivées S par rapport au bruit aléatoire. On considère que le but est atteint lorsque l'amplitude de la trace différence est maximale. En fait, on cherche le maximum du rapport Δ/Σ , rapport de l'amplitude moyenne de la trace différence à l'amplitude moyenne de la trace somme, mesuré dans un secteur riche en arrivées S, pour différents décalages en temps entre les traces + et -. On limite ces décalages à + la demi-période des arrivées S et on obtient pour chaque trace une courbe Δ/Σ fonction de la valeur du décalage. L'abscisse du maximum de la courbe obtenue en faisant la moyenne des courbes correspondant à chaque trace donne la valeur du décalage à apporter au tir - par rapport au tir +. La fréquence des arrivées S étant plus basse que celle des arrivées P, il n'est pas nécessaire, dans ce système de calage en temps, d'effectuer un calage trace par trace, et c'est pourquoi la moyenne simple des valeurs trouvées est appliquée à toutes les traces d'un même tir. Comme pour DIFEZEC 4, ce décalage est appliqué avec interpolation entre les échantillons si nécessaire.

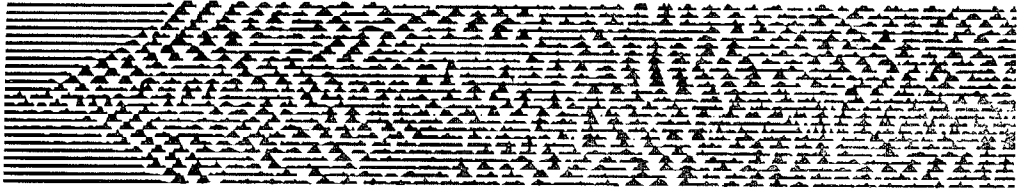
La figure 14 montre une comparaison des deux traitements avec et sans calage en temps, ainsi que la courbe Δ/Σ pour ce tir (fig. 15).

En résumé, le traitement DIFEZEC, 4 ou 5, apparaît comme un bon instrument de séparation des arrivées S utiles par rapport aux événements à filtrer, qu'il s'agisse d'arrivées organisées en ondes P ou de bruit aléatoire.

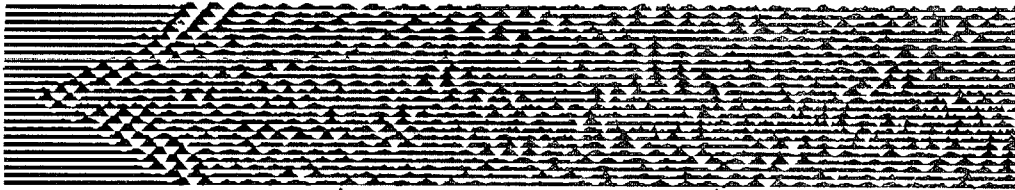
Ces traitements seront appliqués tels quels sur les enregistrements effectués avec des sources à forte énergie. Dans le cas de sources à faible énergie comme les sources de surface, on est obligé de sommer un certain nombre d'enregistrements pour obtenir un document à énergie suffisante. L'opération la plus courante, et la moins onéreuse, consiste à sommer les enregistrements élémentaires de même polarité et à effectuer ensuite le traitement DIFEZEC sur les tirs + et - ainsi obtenus. Il semble cependant que cette opération ne favorise pas le rapport signal S sur bruit. Par contre, si on effectue le traitement DIFEZEC sur chaque couple élémentaire + et - et que l'on somme les résultats des différences ainsi obtenues, on obtient un résultat sensiblement meilleur. La figure 16 montre l'importance de l'ordre des opérations DIFEZEC et somma-



TRAITEMENT DIFEZEC 5 SANS CALAGE EN TEMPS



TRAITEMENT DIFEZEC 5 AVEC CALAGE EN TEMPS



Temps double en s

1

2

Figure 14

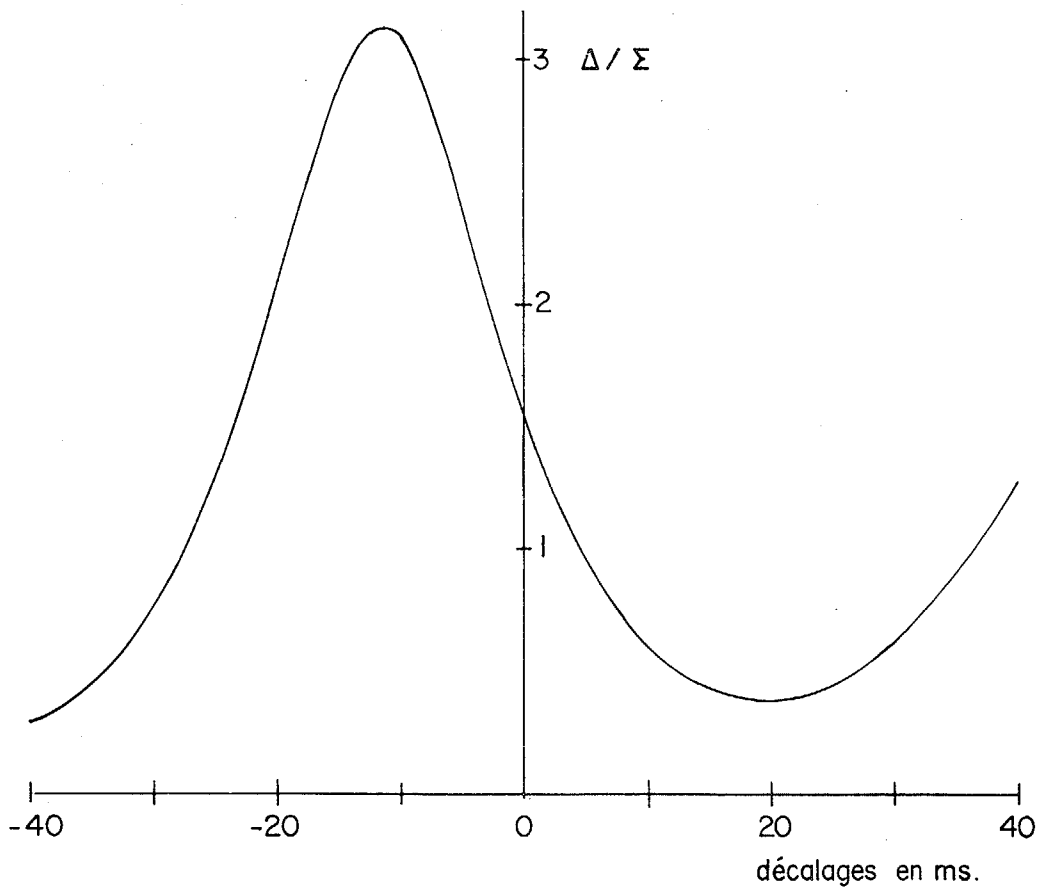


Figure 15



DIFEZEC APRES SOMMATION



DIFEZEC AVANT SOMMATION

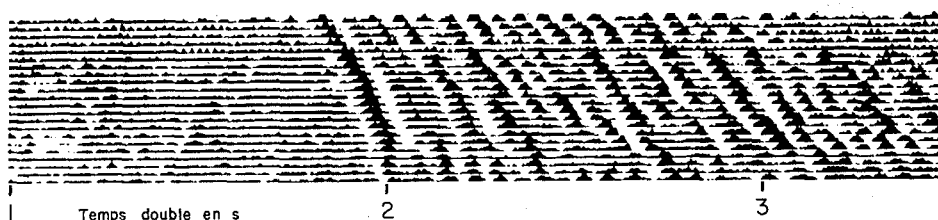


Figure 16

tion de tir, sur un enregistrement de réfraction par source de surface, en l'occurrence l'exploseur terrestre I.F.P., à une distance de 1780 m à 2240 m du point de tir et comportant 23 couples de tirs élémentaires.

La figure 17 montre également les mêmes traitements appliqués à des enregistrements de réflexion, également en source de surface, comportant 13 couples de tirs élémentaires.

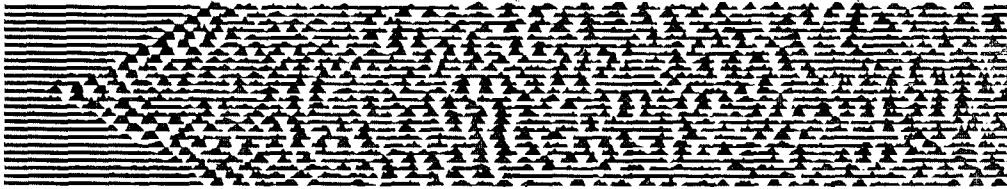
On peut constater sur les deux exemples l'amélioration importante du rapport signal S sur bruit quand on applique le traitement DIFEZEC avant la sommation.

Conclusion

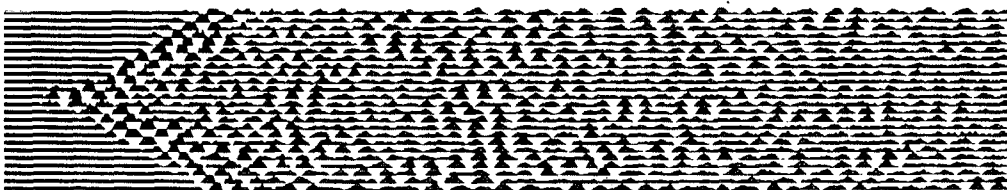
Dans la technique de la sismique en ondes transversales, le géophysicien a fait le choix, pour les raisons que nous avons vues, de s'intéresser aux composantes SH. Il a donc été amené à utiliser, au stade de la détection sur le terrain, la propriété de variation de phase avec la direction d'émission. Ce faisant, le renforcement des informations utiles impliquait nécessairement un traitement basé sur la différence des deux tirs élémentaires. Il restait donc à voir si l'on pouvait améliorer les performances d'une différence simple de ces deux



DIFEZEC APRES SOMMATION



DIFEZEC AVANT SOMMATION



Temps double en s.

1

2

Figure 17

tirs. Les tentatives de traitement CRENEAU et DIFEZEC appliqués à des enregistrements réels ont montré qu'il était possible d'améliorer sensiblement le résultat obtenu par une différence simple. Les difficultés de restitution finale du traitement CRENEAU nous font préférer le traitement DIFEZEC.

On peut penser que ces types de traitement, dans leurs principes généraux, pourraient s'appliquer également à des problèmes de sommation, quels qu'ils soient, où l'on cherche à reconnaître sur des enregistrements différents, des événements en phase.

Les auteurs remercient le VNII Geofizika de Moscou qui a fourni les enregistrements ayant servi aux figures 12 et 13.



BIBLIOGRAPHIE

I.S. BERZON, A.M. EPINAT'EVA, G.N. PARIYSKAJA et
S.P. STARODUBROVSKAJA, 1962, Caractéristiques dynamiques des
ondes sismiques dans les milieux réels (en russe), Izd. A.N.
S.S.S.R., Moscou.

N.N. POUZIREV, K.A. LJEBJEDEV et G.N. LJEBJEDEVA, 1967,
Excitation d'ondes sismiques transversales par des explo-
sions dans les cavités (en russe) in : Ondes transverses et
de conversion en sismique, Izd. Nedra, Moscou.

S.D. SHUSHAKOV, 1967, Directivité de l'action d'une charge
sismique mise en place à proximité d'une cavité (en russe)
in : Ondes transverses et de conversion en sismique, Izd.
Nedra, Moscou.

MARK K. SMITH, 1956, Noise analysis and multiple seismometer
theory, Geophysics, Vol. XXI, 2, p. 337-360.

J.E. WHITE et R.L. SENGBUSH, 1963, Shear waves from explosive
sources, Geophysics, Vol. XXVIII, 6, p. 1001-1019.

J.E. WHITE, S.N. HEAPS et P.L. LAWRENCE, 1956, Seismic waves
from a horizontal force, Geophysics, Vol. XXI, 3, p. 715-723.