

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 17766

(54)

Technique particulière de prospection géophysique, dite à courants transitoires.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 V 3/02.

(22)

Date de dépôt..... 9 juillet 1979.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 5 du 30-1-1981.

(71)

Déposant : COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE, SA, résidant en France.

(72)

Invention de : François Victor Gole et Jean-Pierre Camille Rocroi.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Regimbeau, Corre, Paillet, Martin et Schrimpf,
26, av. Kléber, 75116 Paris.

L'invention concerne une technique particulière de prospection géophysique, dite "à courants transitoires".

Selon cette technique, on dispose tout d'abord en coopération avec le sous-sol un dipôle émetteur ainsi qu'un dipôle récepteur sensible au champ électromagnétique. On applique ensuite répétitivement au dipôle émetteur un courant d'excitation impulsif de manière à définir des impulsions de polarité alternée, suivies chacune par du courant nul; en même temps, on détecte répétitivement le signal transitoire qui en résulte à la sortie du dipôle récepteur. Un traitement ultérieur des signaux transitoires détectés successifs permet d'obtenir une représentation figurative du phénomène transitoire qui en facilite l'interprétation par le géophysicien. L'analyse par l'homme est en effet seule possible dans cette technique, car on ne dispose pas à l'heure actuelle d'une théorie ni d'une modélisation qui permette l'exploitation directe des signaux détectés.

Une particularité des courants transitoires est qu'ils sont d'amplitude très faible, et fréquemment perturbés par des bruits d'origines diverses (bruits industriels et telluriques, notamment). Cette présence de bruit fait que le géophysicien se trouve souvent confronté à de sérieuses difficultés d'interprétation des données et documents qui lui sont soumis après traitement.

La présente invention a pour but principal d'améliorer cette situation, en particulier en réduisant le niveau de bruit.

Elle propose à cet effet un procédé du type précité, ainsi modifié : on définit des intervalles de temps respectivement consécutifs aux impulsions d'excitation et contemporains du courant nul d'excitation, ces intervalles de temps étant de durée prédéterminée, choisie pour couvrir sensiblement toute la partie utile du phénomène transitoire; on détecte à chaque fois le signal transitoire en fonction du temps au moins pendant ces intervalles de temps, avec échantillonnage, numérisation, et enregistrement temporellement repéré du signal détecté; et l'opération de traitement commence par un prétraitement, qui comporte l'élaboration d'une représentation numérique brute du phénomène transitoire en fonction du temps, évaluée statistiquement à partir des éléments de l'enregistrement numérique qui se correspondent

temporellement dans les intervalles de temps successifs, puis un filtrage numérique lissant qui fournit une représentation numérique lissée du phénomène transitoire, débarrassée d'une partie substantielle des bruits ambiants.

5 Selon un aspect préférentiel de l'invention, le signal d'émission est répété un grand nombre de fois - plusieurs centaines de fois - ; on préfère aussi, actuellement, enregistrer continuellement sous forme numérique aussi bien le courant d'excitation que le signal détecté, même pendant les impulsions; la
10 durée prédéterminée des intervalles de temps de détection est choisie comprise entre 1 seconde et 20 secondes, environ, suivant les caractéristiques du courant d'émission (énergie, et durée des impulsions, notamment); enfin, le pas d'échantillonnage est avantageusement compris entre 2 et 50 millisecondes.

15 Avantageusement, le courant d'excitation ou d'émission est répété d'une manière aléatoire; on en conserve trace pour l'élaboration de la représentation numérique brute. Ici, le caractère aléatoire s'entend compte-tenu du nombre de répétitions prévu. Schématiquement, il signifie qu'aucune ou prati-
20 quement aucune périodicité n'apparaît dans les quelques centaines de répétitions du courant d'émission. Bien entendu, le courant d'émission peut comprendre plusieurs groupes - de préférence des triplets - d'impulsions de polarité alternée, auquel cas le caractère aléatoire, le cas échéant, s'applique à ces
25 groupes, ensemble.

 Selon une autre variante très avantageuse, dans chaque groupe d'impulsions d'excitation, la première impulsion comprend deux créneaux de courant de polarité opposée, sensiblement adjacents l'un à l'autre, d'énergie globale nulle, et de durée brève
30 à l'égard de celle de l'intervalle de temps de courant nul qui la suit. Les autres impulsions du groupe possèdent la même forme que la première, mais avec une polarité inversée à chaque fois.

 D'autres caractéristiques de l'invention sont relatives à des dispositifs de terrain, qui par un agencement particulier des dipôles, permettent une réduction du bruit. Ces dispositifs de terrain préférentiels ont en commun le fait que le dipôle émetteur est un dipôle électrique, comprenant deux électrodes espacées entre lesquelles est appliqué le courant d'émission.
35

Ces deux électrodes définissent un axe d'émission.

5 Dans un premier dispositif de terrain, le dipôle récepteur est un autre dipôle électrique placé sur un axe de réception parallèle à l'axe d'émission, voisin du dipôle émetteur, et plus court que lui. Selon l'invention, on dispose sur l'axe d'émission un second dipôle électrique émetteur, sensiblement adjacent au premier, et de même longueur que lui, les deux dipôles émetteurs étant ainsi symétriques l'un de l'autre par rapport à un axe, perpendiculaire à l'axe d'émission; 10 on applique simultanément aux deux dipôles émetteurs des courants d'excitation sensiblement égaux et de polarité opposée; on dispose sur l'axe de réception un second dipôle électrique récepteur symétrique du premier par rapport audit axe de symétrie; et l'on détecte simultanément les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles récepteurs, l'addition à chaque 15 instant, des deux signaux détectés, avec des polarités opposées, permettant de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles. Dans ce cas, avantageusement, au moins un dipôle magnétique est disposé au voisinage de chacun des dipôles électriques récepteurs, ces dipôles magnétiques étant aussi symétriques par rapport audit axe de symétrie. 20

25 Dans un second dispositif de terrain, le dipôle récepteur est un autre dipôle électrique plus court, et d'axe perpendiculaire à celui du dipôle émetteur, l'intersection des axes des deux dipôles étant voisine d'une extrémité du dipôle émetteur. Selon l'invention, on place un second dipôle électrique récepteur symétrique du premier par rapport à l'axe du dipôle émetteur, et on détecte simultanément les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles récepteurs, l'addition à 30 chaque instant des deux signaux détectés avec des polarités opposées permettant de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles.

35 Dans un troisième dispositif de terrain, le dispositif récepteur comprend un dipôle magnétique voisin du dipôle électrique émetteur, entre ses extrémités. Selon l'invention, on place un second dipôle magnétique symétrique du premier par rapport à l'axe du dipôle émetteur, et on détecte simultanément

les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles magnétiques, l'addition à chaque instant des deux signaux détectés avec des polarités opposées permettant de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles.

On se rappellera que le prétraitement comporte l'accumulation statistique en fonction du temps des signaux transitoires numériques recueillis, successivement, pendant les intervalles de temps précités, consécutifs à chaque impulsion d'excitation. Dans le cas des dispositifs de terrain qui fournissent deux signaux détectés simultanés, l'addition des deux signaux peut s'effectuer soit sur le terrain, en étant enregistrée séparément en plus des deux signaux détectés, soit ultérieurement, dans le cadre du prétraitement ou du traitement.

L'invention propose également différentes manières d'effectuer les opérations de prétraitement ainsi que de traitement, et aussi des moyens pour la mise en oeuvre du procédé sur le terrain.

Ces caractéristiques de l'invention, de même que d'autres caractéristiques et avantages qu'elle offre, apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés, donnés uniquement à titre d'illustration non limitative, et sur lesquels :

- les figures 1 à 4 illustrent schématiquement quatre dispositifs émetteurs-récepteurs de type connu;

- les figures 5 à 7 illustrent schématiquement trois dispositifs émetteurs-récepteurs dont l'invention peut faire usage à titre préférentiel;

- les figures 8A, 8B et 9A, 9B illustrent respectivement deux types de réponse transitoire du sous-sol à un courant d'excitation en créneau;

- les figures 10A et 10B illustrent respectivement un exemple de courant d'excitation répété un grand nombre de fois, et le signal détecté correspondant;

- la figure 11 illustre un exemple de courant d'excitation, à répétition aléatoire, où le cycle élémentaire comprend deux impulsions de courant constant, avec polarité alternée;

- la figure 12 illustre un exemple de courant d'excitation à répétition aléatoire, où le cycle élémentaire comprend des triplets d'impulsions de courant constant, avec polarité alternée;

5 - les figures 13 et 14 illustrent des courants d'excitation de cycles semblables aux cycles des figures 11 et 12, respectivement, mais où chaque impulsion comporte un changement de polarité qui lui donne une valeur moyenne sensiblement nulle;

10 - la figure 15 représente un exemple de courbe associée à la représentation numérique brute;

- la figure 16 représente un exemple de courbe associée à la représentation numérique lissée;

- la figure 17 représente schématiquement la réalisation d'un lissage par courbes cubiques;

15 - la figure 18 est un tableau numérique qui fait apparaître verticalement en fonction du temps les représentations numériques obtenues après traitement pour six stations sensiblement alignées, dites profil B;

20 - la figure 19 est une représentation figurative sous forme de section temps, correspondant au tableau de la figure 18; et

- la figure 20 est une représentation figurative sous forme de carte, en courbes de niveau, réalisée à partir de quatre profils A, B, C, D, dont celui des figures 18 et 19.

25 En prospection géophysique par courants transitoires on commence par disposer en coopération avec le sous-sol un dipôle émetteur, ainsi qu'un dipôle récepteur sensible au champ électromagnétique. L'ensemble émetteur-récepteur est fréquemment dénommé dispositif de terrain. Pour certaines applications, le
30 dipôle émetteur peut être un dipôle magnétique. Mais, la plupart du temps, on préfère un dipôle électrique à l'émission. Ainsi, sur les figures 1 à 4, le dipôle électrique émetteur est noté A-B. Aux points A et B sont plantées dans le sol deux électrodes. Des fils partent de ces électrodes sensiblement selon l'axe A-B,
35 pour venir aux deux sorties d'une source de courant d'excitation 10. On décrira plus loin la forme du courant d'excitation.

Le dipôle récepteur peut être lui aussi un dipôle é-

lectrique M-N, avec deux électrodes plantées dans le sol en M et N, et deux fils selon l'axe M-N qui viennent rejoindre un organe détecteur 20. Ce dernier mesure la tension existant entre les points M et N, qui représente une composante du champ électromagnétique.

DISPOSITIFS DE TERRAIN

On connaît déjà différentes dispositions relatives des dipôles électriques émetteur et récepteur :

- 10 - Sur la figure 1, le dipôle électrique récepteur est placé sur un axe de réception L_2 , parallèle à l'axe L_1 du dipôle émetteur. Le dipôle récepteur est voisin du dipôle émetteur, et plus court que lui. Cette configuration est souvent dénommée "dispositif SCHLUMBERGER". Bien entendu, l'ordre de grandeur des dimensions M-N et A-B est de plusieurs centaines de mètres.
- 15 - Sur la figure 2, les deux dipôles émetteur A-B et récepteur M-N sont alignés sur le même axe L. Cette configuration est connue sous le nom de dipôle-dipôle polaire.
- 20 - Sur la figure 3, la disposition est généralement semblable à celle de la figure 1, mais le dipôle récepteur M-N est maintenant assez éloigné du dipôle émetteur A-B. Cette configuration est connue sous le nom de dipôle-dipôle équatorial.
- 25 - Sur la figure 4, le dipôle émetteur A-B est disposé sur un axe d'émission L_1 , alors que le dipôle récepteur M-N est disposé sur un axe de réception L_2 perpendiculaire à L_1 au voisinage de l'une des extrémités, B par exemple, du dipôle émetteur. Cette configuration est connue sous le nom de dipôle-dipôle perpendiculaire.

Avec un dipôle émetteur du type électrique, le dipôle récepteur peut être du type magnétique. Ainsi, sur la figure 1, un dipôle magnétique H est disposé au voisinage du segment M-N. Ce dipôle magnétique H peut être sensible à une ou plusieurs composantes du champ magnétique. Et il peut être utilisé soit à la place du dipôle électrique récepteur, soit en plus de lui. On retrouve également un dipôle magnétique H sensiblement au milieu du segment M-N sur la figure 2, ainsi que sur la figure 3.

Les dispositifs des figures 1 à 4 sont ceux que, parmi d'autres, on utilise le plus fréquemment à l'heure actuelle en prospection géophysique par courants transitoires.

Bien que la présente invention puisse faire usage des dispositifs de terrain connus, il s'est avéré préférable, au moins pour certaines applications, d'utiliser des dispositifs de terrain spéciaux. Ces derniers sont remarquables par
5 une disposition différentielle permettant une addition des signaux détectés et une soustraction des bruits.

La demanderesse a observé que certains dispositifs de terrain pouvaient être doublés, et faire l'objet d'un montage différentiel, dans lequel se réalise une substantielle
10 diminution des bruits. Dans la suite, on distinguera ces dispositifs préférentiels par l'appellation "dispositifs anti-bruit".

Le premier dispositif anti-bruit, illustré sur la figure 5, comporte un doublement du dispositif SCHLUMBERGER de
15 la figure 1. Plus précisément, sur l'axe d'émission L_1 , on dispose un second dipôle électrique émetteur $A-B_2$. Les deux dipôles émetteurs sont de même longueur, et demeurent ainsi symétriques par rapport à l'axe P , perpendiculaire à l'axe L_1 . Dans l'exemple représenté, les deux dipôles ont une extrémité
20 commune A . L'axe de symétrie médiateur des autres extrémités B_1-B_2 , passe donc par cette extrémité commune A . Deux sources 11 et 12 appliquent respectivement et simultanément aux deux dipôles émetteurs $A-B_1$ et $A-B_2$ des courants d'excitation sensiblement égaux et de polarité opposée. La polarité opposée
25 signifie ici que le courant passant dans le dipôle électrique $A-B_1$ et le courant passant dans le dipôle électrique $A-B_2$ ne sont pas de même sens lorsqu'on parcourt l'axe L_1 dans un sens donné. En d'autres termes, les polarités des courants d'excitation sont symétriques par rapport à l'axe P . En pratique,
30 on utilise une seule source qui alimente symétriquement les deux lignes AB_1 et AB_2 .

Sur l'axe de réception L_2 , on dispose également deux dipôles électriques récepteurs M_1-N_1 et M_2-N_2 symétriques l'un de l'autre par rapport à la médiatrice P . Les deux dipôles
35 récepteurs sont donc égaux, et l'on remarquera que l'ensemble des dipôles est symétrique par rapport à la perpendiculaire commune P aux axes d'émission et de réception L_1 et L_2 . Des organes respectifs 21 et 22 détectent simultanément les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles électriques récepteurs

M_1-N_1 et M_2-N_2 . Avec un tel montage, l'addition à chaque instant des deux signaux détectés avec des polarités opposées permet de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles. Dans une variante, on peut disposer, soit à la place des dipôles électriques récepteurs soit en complément, des dipôles magnétiques H_1 et H_2 sensibles à une ou plusieurs composantes du champ magnétique, et sensiblement symétriques par rapport à la médiatrice P.

Les détecteurs 21 et 22 sont reliés à un dispositif électronique d'échantillonnage de numérisation et d'enregistrement, désigné par la référence 30. Les données ainsi enregistrées pourront ensuite être soumises à un traitement, d'une manière que l'on décrira plus loin. Bien entendu, le cas échéant, les magnétomètres H_1 et H_2 sont également reliés au dispositif d'échantillonnage, numérisation et enregistrement 30. Ici, leurs liaisons n'ont pas été représentées pour simplifier le dessin.

Le second dispositif anti-bruit, illustré sur la figure 6, est à certains égards comparable au dipôle-dipôle perpendiculaire de la figure 4. Selon l'invention, on place un second dipôle électrique récepteur M_2-N_2 symétriquement du premier M_1-N_1 par rapport à l'axe L_1 du dipôle émetteur. Comme précédemment, on détecte simultanément les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles récepteurs, à l'aide des détecteurs 21 et 22. Et les signaux ainsi détectés sont appliqués à un circuit d'échantillonnage, numérisation et enregistrement 30. L'addition à chaque instant des deux signaux détectés avec des polarités opposées, c'est-à-dire symétriques par rapport à l'axe L_1 , permet de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles.

Un troisième dispositif anti-bruit est illustré sur la figure 7. Dans celui-ci, les dipôles récepteurs sont du type magnétique. Deux magnétomètres H_1 et H_2 sont disposés symétriquement par rapport au dipôle électrique émetteur A-B, sensiblement en son milieu, et au voisinage de celui-ci. Ces magnétomètres sont sensibles à une ou plusieurs composantes du champ magnétique, de préférence au moins au champ magnétique vertical, comme dans les dispositifs de terrain précédemment décrits. De la même manière que pour la figure 5, les deux

composantes du champ magnétique ainsi obtenu sont appliquées au circuit d'échantillonnage, de numérisation et d'enregistrement 30. L'addition à chaque instant des deux signaux détectés avec des polarités opposées permet de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles.

Bien entendu, pour effectuer, après l'enregistrement, l'addition des deux signaux simultanément détectés, il est nécessaire que cet enregistrement soit effectué d'une manière synchrone, ou encore temporellement repéré.

Des essais réalisés par la demanderesse ont montré que ces dispositifs anti-bruit permettent dans certains cas d'augmenter le niveau du signal mesuré (qui peut être doublé par rapport aux dispositifs correspondants de la technique antérieure), tout en permettant une réduction substantielle du bruit. En termes de rapport signal/bruit, l'amélioration est donc nettement supérieure au facteur 2.

En ce qui concerne plus particulièrement le dispositif anti-bruit de la figure 5, il a été indiqué que les deux courants d'excitation devaient être sensiblement égaux. On entend par là qu'ils doivent posséder des formes d'onde identiques, et sensiblement de même amplitude à chaque instant. Toutefois, au moins dans certains cas, où le sous-sol est proche de la structure tubulaire, il est possible que les amplitudes soient différentes pourvu qu'elles se trouvent dans un rapport constant en fonction du temps. En règle générale, la demanderesse a observé que des rapports d'amplitude inférieurs ou égaux à 1,2 ou mieux 1,1 demeuraient acceptables.

COURANT D'EXCITATION

On s'intéressera maintenant à la forme du courant d'excitation appliqué au dipôle émetteur.

Dès lors qu'il contient des variations ou transitions, tout type de courant d'excitation (même une arche de sinusöide), est susceptible de produire une réponse transitoire du sous-sol. Ici, on appelle courant d'excitation impulsioannel un tel courant comportant au moins une variation ou transition, que l'on définit aussi par le terme "impulsion". En fait, comme les signaux reçus sont très faibles, il est habituel de les

mesurer pendant que le courant émis est nul. C'est pourquoi les impulsions du courant d'excitation sont suivies d'intervalles de temps de courant nul. En pratique, pour des raisons technologiques, lesdites impulsions d'excitation sont la plupart du temps constituées d'un courant constant. Ainsi, on connaît des impulsions d'excitation constituées d'un créneau de courant constant suivi d'un intervalle de temps de courant nul, comme l'illustrent les figures 8A et 9A. L'allure du signal reçu dépend non seulement de la structure du sous-sol, mais aussi du dispositif de terrain précisément utilisé. Ainsi, un dispositif du type SCHLUMBERGER (figure 1 ou bien figure 5) fournira aux bornes du dipôle récepteur un signal reçu de la forme illustrée par la figure 8B.

Pour un tel signal, aussi bien au début du créneau de courant émis $+ I_0$ qu'à la fin de ce créneau, on observe une forte pointe de tension au niveau du dipôle récepteur. Par contre, un dispositif de terrain tel que celui de la figure 2 fournit une réponse différente, telle que celle de la figure 9B : aucune pointe de tension détectée n'apparaît ni au début ni à la fin du créneau à $+ I_0$.

L'examen attentif des figures 8B et 9B montre qu'à partir de l'instant t_0 , c'est-à-dire pendant l'intervalle de temps où le courant d'excitation est nul, le signal transitoire fait l'objet de variations importantes pendant un temps relativement bref, noté Δt , après quoi il tend très rapidement vers zéro. On se rappellera également que les tensions détectées après le créneau de courant d'excitation sont de l'ordre du microvolt pour une intensité I_0 de l'ordre de 1 Ampère.

Selon la présente invention, le courant d'excitation est répété un grand nombre de fois, c'est-à-dire plusieurs centaines de fois, de préférence entre 200 et 300 fois. Selon l'exemple de la figure 10A, un cycle du courant d'excitation comprend tout d'abord un créneau de courant constant $+ I_0$, suivi d'un intervalle de temps de courant nul, puis d'un autre créneau de courant constant $- I_0$, suivi à son tour d'un autre intervalle de temps de courant nul. Les intervalles de temps de courant nul sont de durée au moins égale à une durée prédéterminée Δt . De même, les intervalles de temps consacrés

aux créneaux positif et négatif sont de préférence égaux entre eux, et de durée voisine de celle des intervalles de temps à courant nul qui les sépare. Sur l'exemple illustré par la figure 10A, les quatre intervalles de temps élémentaires d'un cycle sont tous égaux entre eux et à Δt .

La figure 10B illustre l'allure du signal détecté Δv aux bornes d'un dipôle récepteur du type de celui de la figure 1; pour le courant d'excitation défini par la figure 10. Le signal de la figure 10B est perturbé par différents bruits. Les bruits de basse fréquence, généralement telluriques, correspondent à la variation du niveau moyen du signal détecté. Les bruits industriels, qui sont de fréquence généralement plus élevée, se retrouvent dans les différentes parties du signal détecté.

Bien que l'on puisse faire usage d'un signal d'excitation répété périodiquement, tel qu'un enchaînement de 200 ou 300 cycles comme le montre la figure 10A, il s'est avéré préférable que la répétition du courant d'excitation soit aléatoire, c'est-à-dire que les instants de début de cycle soient définis sans périodicité. Alors que, dans le signal de la figure 10A, il n'y a pas de limite nette entre cycles consécutifs, avec un signal à répétition aléatoire, on distingue bien les différents cycles 110, 111, 112 et ainsi de suite (fig. 11).

La figure 12 montre un exemple plus avantageux de signal à répétition aléatoire, où le cycle répété comprend des triplets d'impulsions alternés (deux triplets seulement - 125 et 126 - sont représentés pour un cycle; leur nombre peut en pratique être bien plus élevé). Déjà avantageuse sur le plan du bruit par elle-même, la répétition aléatoire le devient plus encore lorsque le courant d'excitation se définit par triplets. On notera que dans un même cycle, aussi bien les créneaux positifs et négatifs que les périodes de courant nul sont de préférence de même durée ΔT . En revanche, dans le signal à répétition aléatoire, les débuts de cycle sont très variables.

Dans ce qui précède, les impulsions d'excitation sont de simples créneaux de courant constant. La demanderesse a observé qu'une nouvelle forme d'impulsion est plus avantageuse. Cette forme est illustrée sur les figures 13 et 14, qui en donnent deux exemples différents, avec une échelle de temps dilatée.

La figure 13 illustre deux cycles d'excitation 130 et 131, comparables à ceux de la figure 11. La figure 14 illustre un seul cycle à deux triplets 135 et 136, comparable à ceux de la figure 12.

5 Ici, chaque impulsion comprend deux créneaux de courant de polarité opposée (133 et 134 ou 137 et 138), qui sont sensiblement adjacents l'un à l'autre et de durée brève à l'égard du temps de courant nul qui suit (l'impulsion est au maximum de quelques dixièmes de seconde, de préférence au plus égale à
10 un dixième de seconde). Les deux créneaux adjacents peuvent être d'amplitude différente (fig. 13), ou de même amplitude (fig. 14), pourvu que leur moyenne linéaire soit nulle, c'est-à-dire que la surface du créneau positif (entre la courbe de courant en fonction du temps et l'axe de courant nul) soit
15 égale à la surface du créneau négatif. Bien entendu, les deux éléments adjacents de polarité opposée peuvent différer de la forme de créneaux purs, pourvu que cette condition de moyenne nulle soit sensiblement respectée.

20 Les figures 13 et 14 illustrent respectivement un ou des cycles de courant d'excitation à deux impulsions et à deux triplets d'impulsions, de la forme définie ci-dessus; on voit que les différentes impulsions possèdent la même forme, mais avec une polarité inversée à chaque fois.

25 La demanderesse a observé que cette forme particulière d'impulsions donne lieu à une réponse plus faible d'un sous-sol stérile, ce qui permet de mieux faire ressortir la réponse transitoire additionnelle d'une anomalie ou inclusion.

SIGNAUX TRANSITOIRES DETECTES

30 On s'intéressera maintenant à la détection du signal transitoire, au niveau du dipôle récepteur.

35 En règle générale, les procédés de la technique antérieure préconisent la mesure d'une valeur ou de quelques valeurs du signal transitoire présent après l'application du créneau de courant d'excitation. Selon la présente invention, au contraire, on définit des intervalles de temps respectivement consécutifs aux impulsions d'excitation et contemporains du courant nul d'excitation; ces intervalles de temps sont de durée prédéter-

minée, choisie pour couvrir sensiblement toute la partie utile du phénomène transitoire. Etant observé que le phénomène transitoire tend rapidement vers zéro, la partie utile est définie en tenant compte du fait que, rapidement, le niveau du signal transitoire devient très inférieur au niveau du bruit. Et l'invention prévoit la détection du signal transitoire en fonction du temps au moins pendant chacun des intervalles de temps ainsi définis. Dans la suite, on notera Δt la durée prédéterminée des intervalles de temps pendant lesquels s'effectue la détection.

Selon l'invention, on procède à l'échantillonnage, à la numérisation et à l'enregistrement temporellement repéré du signal détecté, au moins pendant les intervalles de temps prédéterminés de durée Δt . En pratique, on réalise ces opérations d'une manière continue sur le signal détecté ΔV , aussi bien que pour le courant d'excitation I . La durée Δt des intervalles de temps est choisie comprise en 1 seconde et 20 secondes environ, en tenant compte des caractéristiques du courant d'émission. Enfin, le pas d'échantillonnage est de préférence compris entre 2 et 50 millisecondes. Il est apparu important que l'enregistrement numérique soit précis. A cet effet un enregistrement à 11 bits plus le signe est actuellement considéré comme satisfaisant.

L'enregistrement numérique obtenu peut ensuite être traité sur ordinateur. L'invention fait usage d'un prétraitement que l'on peut réaliser sur le terrain ou bien juste avant le traitement sur ordinateur.

PRETRAITEMENT

Ce prétraitement comporte en premier lieu l'accumulation des échantillons qui se correspondent temporellement dans les intervalles de temps de durée prédéterminée définis plus haut. En d'autres termes, on élabore une représentation numérique brute du phénomène transitoire en fonction du temps, évaluée statistiquement à partir des éléments de l'enregistrement numérique qui se correspondent temporellement dans les intervalles de temps successifs.

L'élaboration de la représentation brute peut se faire par une simple moyenne, mais on utilisera de préférence des techniques statistiques plus évoluées : estimation de la valeur

probable de la mesure sur l'ensemble des échantillons recueillis, en rejetant toutefois les portions d'enregistrement trop perturbées.

5 La courbe de la figure 15 illustre l'allure de cette représentation numérique brute, cumulée sur l'intervalle de temps Δt . Les traits verticaux rappellent que cette courbe est constituée, de manière discontinue, à partir d'un grand nombre d'échantillons numériques.

10 Pour élaborer une telle représentation numérique brute, on opère de préférence comme suit :

- les intervalles de temps de durée Δt consécutifs à chacune des impulsions d'excitation sont localisés dans le signal détecté, à partir de ses propres transitions ou, de préférence, à partir de celles du courant d'excitation;
- 15 - les signaux numériques contenus dans chacun de ces intervalles de temps sont décalés ou recadrés dans le temps, de telle sorte que tous les intervalles de temps successifs soient ramenés en coïncidence sur un intervalle de temps unique de durée Δt ; et
- 20 - on effectue la moyenne simple ou le traitement statistique plus évolué, tel que défini plus haut, à chaque instant de l'intervalle de temps unique; en pratique, on construit la différence D entre deux valeurs V_{1+} et V_{1-} obtenues au même instant t_1 sur deux signaux transitoires adjacents
- 25 (fig. 10B).

Dans le cas de triplets on construit deux différences; l'une, D_1 est prise entre la première et la seconde impulsion; l'autre, D_2 est prise entre la seconde et la troisième impulsion; on fait ensuite la différence

30 $\delta = D_1 - D_2$. On recommence alors avec les troisième,

quatrième et cinquième impulsions.

Dans les deux cas, on effectue ensuite la moyenne globale des différences D ou δ ainsi obtenues, en tenant compte de la polarité du courant d'excitation.

5 Il en résulte la représentation numérique brute, constituée d'une pluralité d'échantillons numériques répartis de l'instant zéro à l'instant Δt , comme le montre la figure 15.

10 Il se peut, en particulier dans le cas du courant d'émission à répétition aléatoire, qu'après le recadrage temporel des signaux numériques, les échantillons numériques ne se trouvent pas ramenés rigoureusement au même instant. En pareil cas, on effectue l'accumulation
15 - moyenne simple ou traitement statistique plus évolué - sur des échantillons numériques qui correspondent approximativement au même instant, à un ou quelques pas d'échantillonnage près.

L'étape suivante du prétraitement est un filtrage numérique lissant qui fournit une représentation numérique
20 lissée du phénomène transitoire, débarrassée d'une partie substantielle des bruits ambiants.

Ce filtrage numérique peut comprendre une ou plusieurs des opérations suivantes :

- filtrage numérique passe-bas, ou passe bande, pour éli-
25 miner les fréquences qui sont essentiellement dues aux bruits;
- remplacement de chaque échantillon numérique par la valeur moyenne, pondérée ou non, de l'ensemble des échantillons numériques contenus dans une fenêtre courante, de
30 largeur choisie, qui entoure l'échantillon considéré; ceci peut être effectué sur tous les échantillons numériques de la représentation brute, ou seulement sur certains d'entre

eux, régulièrement répartis de préférence, et choisis assez nombreux pour obtenir un nombre suffisant de points dans la représentation numérique lissée;

- détermination par calcul numérique d'un enchaînement de courbes cubiques (du troisième degré) qui approchent au mieux l'allure de la courbe définie par la représentation numérique brute. Dans ce cas, la représentation numérique lissée est constituée des valeurs ou échantillons numériques associées à l'enchaînement de courbes cubiques.

La figure 16 schématise la courbe associée à la représentation numérique lissée.

La figure 17 illustre le lissage par cubiques : on découpe l'intervalle de temps 0, Δt en plusieurs intervalles plus petits, délimités par les instants t'_1 , t'_2 , t'_3 et t'_4 . On recherche une cubique approchant la courbe brute dans chacun de ces intervalles, en imposant la continuité des dérivées première et seconde à chaque limite d'intervalle; d'autres conditions peuvent être prévues, en particulier le fait que la somme des carrés des courbures de ces cubiques sur l'intervalle 0, Δt soit minimale.

La plupart du temps, l'étape de lissage est suivie d'une normalisation de la représentation numérique lissée. Cette normalisation peut consister à faire le rapport du signal transitoire (selon la représentation numérique lissée) au courant d'excitation (en particulier dans le cas où chaque impulsion d'excitation est définie par un ou des créneaux de courant constant); elle peut également consister à faire le rapport du signal transitoire à la tension continue de régime permanent qu'il contient (V_{cc} ; fig 8B). L'invention préconise à titre préférentiel d'effectuer une ou plusieurs des normalisations suivantes (qui doivent être prises dans l'ordre le cas échéant) :

- calcul de l'opérateur mathématique faisant passer de l'émission effectivement employée à une émission-type prédéterminée (impulsion de Dirac, par exemple), puis convolution de la représentation numérique lissée par cet opérateur;
- calcul d'une courbe théorique représentant le champ é-

lectromagnétique transitoire que créerait le courant d'émission effectivement utilisé pour un sous-sol simplifié, tabulaire par exemple, et soustraction de cette courbe théorique à la courbe définie par la représentation numérique lissée;

- calcul de l'aire totale de la courbe définie par la représentation numérique lissée, puis remplacement de chaque point de la courbe par le rapport de l'aire partielle sur une fenêtre prédéterminée incluant ce point à l'aire totale.

Après normalisation on obtient une représentation numérique lissée, et normalisée, à laquelle s'associe une nouvelle courbe, que l'on appellera courbe prétraitée, par opposition à la courbe brute résultant directement de la représentation numérique brute.

Dans son allure générale, la courbe prétraitée est en principe peu différente des courbes lissées (fig. 16 par exemple), et ne nécessite pas une nouvelle représentation.

Matériellement, le produit du prétraitement comprend :

- un fichier numérique contenant tous les paramètres de la station de mesure (coordonnées de position, conditions de mesure, etc) et tous les résultats du prétraitement, même intermédiaires;

- une liste des principaux résultats et paramètres;

- un dessin de la courbe pré-traitée et de la courbe brute de la station.

Bien entendu, ceci se répète pour chacune des stations de mesure.

On s'intéressera maintenant au traitement qui permet de passer du produit du prétraitement à la représentation figurative destinée au géophysicien.

Bien que différents traitements soient utilisables, la demanderesse utilise à titre préférentiel deux types de traitement :

- le premier fait intervenir individuellement les données relatives à chacune des stations de mesure; on effectue une approximation par exponentielles de la courbe définie par la représentation numérique lissée et normalisée, les

exponentielles étant de la forme $a \cdot e^{-t/\tau}$, où a est un coefficient, τ une constante de temps, et t la variable de temps.

- 5 - le second, qui peut être associé au premier, fait intervenir en plus la détermination d'une courbe régionale, à partir d'un ensemble de courbes locales obtenues sur une série de stations de mesure; on transforme ensuite les courbes locales initiales (du traitement) en courbes locales résiduelles, en leur soustrayant la courbe régionale. On parlera alors de traitement collectif.
- 10

TRAITEMENTS INDIVIDUELS

- La demanderesse a observé que le phénomène transitoire peut se représenter (sinon s'expliquer) par un processus dépendant de constantes de temps qui sont elles-mêmes
- 15 fonction des paramètres électromagnétiques du sous-sol. Ces constantes de temps sont recherchées soit pour chaque point temporel de la représentation du phénomène transitoire, soit pour l'ensemble de la courbe illustrant le phénomène transitoire en fonction du temps.

- 20 On notera V_i chacun des points temporels de la représentation numérique du phénomène transitoire, l'indice i variant avec le temps.

- Dans le premier cas, pour chaque point temporel V_i , on considère aussi les points adjacents de part et d'autre, à
- 25 savoir au moins V_{i-1} et V_{i+1} . Et l'on recherche une exponentielle de la forme

$$a_i \cdot \exp \left(- \frac{t}{\tau_i} \right),$$

- qui passe au plus près de l'ensemble des points considérés. On associe donc à chaque point V_i une constante de temps τ_i
- 30 et un coefficient a_i , qui définissent une exponentielle tangente (ou mieux, osculatrice) à la courbe transitoire en ce point. On peut alors utiliser la constante de temps τ_i ou le coefficient a_i pour la représentation figurative sous forme de section de temps, ou encore des expressions reliées
- 35 à ces grandeurs (par exemple $a_i \cdot \tau_i / a_0$, ou a_0 représente

le coefficient de l'exponentielle associée à l'instant initial).

5 Dans le second cas, on recherche un nombre fini d'exponentielles qui approchent l'ensemble de la représentation numérique V :

$$V(t) = \sum_{k=1}^P a_k \cdot \exp(-t / \tau_k) .$$

10 La détermination des coefficients a_k et τ_k se fait par un procédé de moindres carrés, soit pour chaque courbe locale, individuellement, soit pour l'ensemble des courbes locales. Le critère de moindres carrés peut être appliqué seulement à l'écart entre la courbe locale pré-

15 te, de préférence, des termes additionnels relatifs aux coefficients a_{kj} et aux constantes de temps τ_{kj} , où l'indice k correspond à une exponentielle pour une station donnée de mesure, tandis que l'indice j fait intervenir les différentes stations de mesure : On définit alors séparément

20 un jeu de valeurs a'_k et τ'_k considérées comme acceptables par le géophysicien compte tenu du problème posé, et des résultats sur l'ensemble des stations de mesure. Les termes additionnels du critère de moindres carrés font alors intervenir, avec des coefficients appropriés, des expressions de

25 la forme

$$\sum_k (a_{kj} - a'_k)^2 \quad \text{et} \quad \sum_k (\tau_{kj} - \tau'_k)^2$$

30 Ensuite, on peut réaliser une représentation figurative sous forme de carte, à courbes de niveau ou à densité variable. Le paramètre représenté est alors l'une des constantes de temps τ_{kj} retenues avec indication de son coefficient a_{kj} , ou bien une combinaison de coefficients et/ou de constantes de temps.

35 TRAITEMENT COLLECTIF

Comme précédemment indiqué, on détermine une courbe régionale à partir d'un ensemble de courbes locales. Plusieurs cas peuvent être distingués ; si l'on part d'une sé-

rie de stations de mesure alignées, la courbe régionale peut être établie en fonction du temps, par exemple sous forme d'une simple moyenne des courbes locales temporelles; si l'on part de stations réparties sur une zone à deux dimensions, la courbe régionale est alors établie spatialement, à temps constant prédéfini (après avoir ainsi fixé le temps, on peut définir des courbes locales spatiales, qui correspondent à un alignement de stations).

On connaît dans d'autres domaines de la géophysique divers procédés pour définir l'effet "régional". Selon l'invention, on préfère actuellement les procédés ci-après.

Selon le premier procédé, on définit un contour à deux dimensions, cercle ou ellipse de préférence, autour de chaque point, ce qui donne une zone courante de dimension choisie. On recherche alors la surface du second degré la plus proche des points présents à l'intérieur de ce contour.

On admettra par exemple que l'on dispose d'un ensemble de points définis, à temps constant, pour une série de stations données sur un domaine à deux dimensions x et y . Dans ce domaine, on trace un contour circulaire ou elliptique par exemple. Et l'on numérote par un indice i l'ensemble des points contenus dans ce contour, tout en notant V_i la réponse transitoire du point à l'instant considéré.

On recherche alors une surface du second degré définie par ses paramètres a, b, c, d, e, f , et telle que l'expression suivante soit minimale :

$$\sum_i \lambda_i^2 \left[(a \cdot x_i^2 + 2b \cdot x_i \cdot y_i + c y_i^2 + d x_i + e y_i + f) - V_i \right]^2$$

où λ_i désigne un coefficient de pondération qui dépend de la position du point i dans l'ellipse.

Si nécessaire, on répète cette opération avec un autre contour identique, qui couvre une partie différente du domaine à deux dimensions. Bien entendu, on peut prévoir également des conditions de continuité aux limites entre les différentes surfaces du second degré ainsi définies.

L'ensemble des surfaces du second degré obtenues

définit la réponse régionale sur l'ensemble du domaine d'observation.

On détermine alors des valeurs locales résiduelles en soustrayant de chaque valeur locale (telle que V_i), la
 5 valeur donnée au même point en tant que réponse régionale.

L'exemple ci-dessus se rapporte à une courbe régionale définie à temps constant pour deux coordonnées d'espace x et y . Bien entendu, on peut effectuer un traitement semblable pour des stations de mesure sensiblement alignées, avec
 10 cette fois une seule coordonnée d'espace x , et la variable de temps t .

Toutefois, pour déterminer une réponse régionale en fonction du temps sur des stations alignées, un autre processus, plus simple, est actuellement jugé préférable.

On part dans ce cas de la représentation numérique lissée, et normalisée par rapport d'aires (la dernière des normalisations données plus haut). Cette représentation numérique dépend du temps t , ainsi que de la coordonnée d'espace x , et est notée $V(x, t)$. On détermine alors la moyenne simple des valeurs de V pour x variable et t constant, ce qui
 20 donne la réponse régionale V_R :

$$V_R(t) = \frac{1}{N_x} \sum_x V(x, t)$$

Ensuite, les valeurs locales résiduelles sont obtenues en soustrayant de chaque valeur locale la réponse régionale, à chaque instant. En notant $V_r(x, t)$ ces valeurs locales résiduelles, il vient :

$$V_r(x, t) = V(x, t) - V_R(t)$$

Quelle que soit la façon dont elles ont été obtenues, les valeurs locales résiduelles font ensuite l'objet d'une représentation figurative destinée au géophysicien. Cette représentation est une section - temps si les valeurs locales résiduelles sont fonction du temps et d'une variable d'espace. Elle sera une carte si les valeurs locales résiduelles sont définies à temps constant, en fonction de deux
 35 variables d'espace.

A titre d'illustration , on donne un exemple de représentation figurative. La figure 18 est un tableau qui comporte en fonction du temps (verticalement) les valeurs résiduelles relatives à six stations alignées suivant un axe dit "profil B". La figure 19 est une représentation figurative à densité variable réalisée à partir des données de la figure 19, toujours avec le temps en vertical, et une coordonnée d'espace en horizontal. Les teintes s'échelonnent comme suit du blanc au noir : -34, -31, -21, -14, -9, -5, -2, 0, 5, 9, 13, 17, 22, 27, 32, et 37.

D'une manière générale, et en particulier pour les figures 18 à 20, le contenu des dessins est à incorporer à la présente description, comme difficile à décrire intégralement en lui-même.

Enfin, la figure 20 est une carte à deux dimensions, en courbes de niveau, avec grisé pour les valeurs positives, où l'on reconnaît, le long de l'axe en trait mixte, le profil B qui fait l'objet des figures 18 et 19 (pour le temps 3,25 sec; en l'espèce une fenêtre qui va de 2,80 à 3,64 sec, sur laquelle on fait la moyenne).

Le géophysicien reçoit donc finalement des représentations figuratives du genre de celles des figures 19 et 20, avec pour mission d'y déceler les réponses susceptibles de correspondre à des anomalies profondes, telles que des couches pétrolifères.

Des essais ont été effectués sur des terrains déjà connus par des forages. (Le procédé selon l'invention est de préférence mis en oeuvre sur des terrains dont la structure générale est connue par exploration sismique, mais non nécessairement par des forages). Une bonne corrélation a été obtenue entre les fortes anomalies de valeurs résiduelles positives et les gisements d'huile déjà repérés. Il est estimé que ce résultat favorable tient au soin attaché à la suppression des bruits, selon la présente invention.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits, et s'étend à toute variante conforme à son esprit. On pourra, en particulier, choisir parmi les différentes variantes proposées en fonction de l'intérêt manifesté par le géophysicien pour la représentation figurative finale qui en découle.

REVENDICATIONS

1) Procédé de prospection géophysique du type dans lequel on dispose en coopération avec le sous-sol un dipôle émetteur ainsi qu'un dipôle récepteur sensible au
5 champ électromagnétique, on applique répétitivement au dipôle émetteur un courant d'excitation impulsionnel comprenant un groupe d'impulsions de polarité alternée, suivies chacune par du courant nul, et on détecte répétitivement le
10 signal transitoire qui en résulte à la sortie du dipôle récepteur, pour traiter ensuite les signaux transitoires détectés successifs afin d'obtenir une représentation figurative du phénomène transitoire qui en facilite l'interprétation géophysique, caractérisé en combinaison par le fait que
15 l'on définit des intervalles de temps respectivement consécutifs aux impulsions d'excitation et contemporains du courant nul d'excitation, ces intervalles de temps étant de durée prédéterminée, choisie pour couvrir sensiblement toute la partie utile du phénomène transitoire, que l'on détecte à
20 chaque fois le signal transitoire en fonction du temps au moins pendant ces intervalles de temps, avec échantillonnage, numérisation, et enregistrement temporellement repéré du signal détecté, et que l'opération de traitement commence par un prétraitement, qui comporte l'élaboration d'une représentation numérique brute du phénomène transitoire en fonction du
25 temps, évaluée statistiquement à partir des éléments de l'enregistrement numérique qui se correspondent temporellement dans les intervalles de temps successifs, puis un filtrage numérique lissant qui fournit une représentation numérique lissée du phénomène transitoire, débarrassée d'une partie
30 substantielle des bruits ambiants.

2) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le courant d'excitation est répété un grand nombre de fois, que l'on enregistre continuellement sous forme numérique aussi bien le
35 courant d'excitation que le signal détecté, que la durée prédéterminée des intervalles de temps est comprise entre 1 seconde et 20 secondes environ, et que le pas d'échantillonnage est compris entre 2 et 50 millisecondes.

3) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait que le courant d'excitation est répété de manière aléatoire.

5 4) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que le courant d'excitation comprend au moins un triplet d'impulsions de polarité alternée.

10 5) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que, dans chaque groupe, la première impulsion d'excitation comprend deux créneaux de courant de polarité opposée, sensiblement adjacents l'un à l'autre, d'énergie globale nulle, et de durée brève à l'égard de celle de l'intervalle de temps qui la suit, tandis que les impulsions suivantes possèdent la
15 même forme, mais avec une polarité inversée à chaque fois.

20 6) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le dipôle émetteur est un dipôle électrique définissant un axe d'émission, et le dipôle récepteur est un autre dipôle électrique placé sur un axe de réception parallèle à l'axe d'émission, voisin du dipôle émetteur, et plus court que lui, caractérisé par le fait que l'on dispose sur l'axe d'émission un second dipôle électrique émetteur, sensiblement adjacent au premier, et de même longueur que lui, les deux dipôles émetteurs étant
25 ainsi symétriques l'un de l'autre par rapport à un axe, perpendiculaire à l'axe d'émission, que l'on applique simultanément aux deux dipôles émetteurs des courants d'excitation sensiblement égaux et de polarité opposée, que l'on dispose sur l'axe de réception un second dipôle électrique récepteur
30 symétrique du premier par rapport audit axe de symétrie et que l'on détecte simultanément les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles récepteurs, l'addition à chaque instant, des deux signaux détectés, avec des polarités opposées, permettant de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles.
35

7) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 6, caractérisé par le fait qu'au moins un di-

pôle magnétique est disposé au voisinage de chacun des dipôles électriques récepteurs, ces dipôles magnétiques étant aussi symétriques par rapport audit axe de symétrie.

5 8) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le dispositif émetteur est un dipôle électrique et le dipôle récepteur un autre dipôle électrique plus court, et d'axe perpendiculaire à celui du dipôle émetteur, l'intersection des axes des deux dipôles étant voisine d'une extrémité du dipôle émetteur, 10 caractérisé par le fait que l'on place un second dipôle électrique récepteur symétrique du premier par rapport à l'axe du dipôle émetteur, et que l'on détecte simultanément les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles récepteurs, 15 l'addition à chaque instant des deux signaux détectés avec des polarités opposées permettant de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles.

20 9) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le dispositif émetteur comprend un dipôle électrique et le dispositif récepteur comprend un dipôle magnétique voisin du dipôle électrique émetteur, entre ses extrémités, caractérisé par le fait que l'on place un second dipôle magnétique symétrique du premier par rapport à l'axe du dipôle émetteur, et que l'on détecte 25 simultanément les signaux apparaissant aux bornes des deux dipôles magnétiques, l'addition à chaque instant des deux signaux détectés avec des polarités opposées permettant de réduire sensiblement l'effet des bruits électriques ambiants sur les signaux transitoires utiles.

30 10) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait que l'opération de filtrage lissant est suivie d'une opération de normalisation, qui fournit une représentation numérique lissée et normalisée.

35 11) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 10, caractérisé par le fait que l'opération de normalisation comprend le calcul de l'opérateur mathématique faisant passer du courant d'émission employé à un cou-

rant-type prédéfini, puis la convolution de la représentation numérique lissée par cet opérateur.

5 12) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 10, caractérisé par le fait que l'opération de normalisation comprend le calcul d'une courbe théorique représentant le champ électromagnétique transitoire que créerait le courant d'émission pour un sous-sol simplifié, et la soustraction, à la représentation numérique lissée, d'une représentation correspondante de cette courbe théorique.

10 13) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 10, caractérisé par le fait que l'opération de normalisation comprend le calcul de l'aire totale de la courbe définie par la représentation numérique lissée, puis, en chaque point de cette dernière, la détermination d'une
15 nouvelle valeur égale au rapport de l'aire partielle sur une fenêtre prédéterminée entourant ce point à l'aire totale.

20 14) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 10 à 13, caractérisé par le fait que le traitement comprend une approximation par exponentielles de la courbe définie par la représentation numérique lissée et normalisée, les exponentielles étant de la forme $a \cdot e^{-t/\tau}$, où a est un coefficient, τ une constante de temps, et t la variable de temps.

25 15) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 14, caractérisé par le fait que l'approximation par exponentielles comporte la détermination d'une combinaison linéaire de plusieurs exponentielles, de constantes de temps différentes, approchant ladite courbe.

30 16) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 14, caractérisé par le fait que l'approximation par exponentielles comporte, en divers points de ladite courbe, la détermination de la meilleure exponentielle approchant la courbe au voisinage de chacun de ces points.

35 17) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 14 à 16, caractérisé par le fait que la représentation figurative finale destinée au géophysicien fait intervenir au moins un paramètre des exponentielles, choisi parmi le coefficient a et la constante de temps τ .

18) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 10 à 17, dans lequel on répète l'ensemble des opérations avec implantation du dispositif émetteur-récepteur successivement en différentes stations d'une zone à prospecter, ce qui donne une pluralité de représentations numériques locales, lissées et normalisées, qui définissent des courbes locales, respectivement associées aux différentes stations, caractérisé par le fait que le traitement comporte la détermination numérique d'une courbe régionale, à partir de l'ensemble des courbes locales, puis la détermination d'une pluralité de représentations numériques résiduelles, par différence entre les courbes locales et la courbe régionale.

19) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 18, caractérisé par le fait que la courbe régionale est établie en fonction du temps, pour une pluralité de stations sensiblement alignées.

20) Procédé de prospection géophysique selon la revendication 18, caractérisé par le fait que la courbe régionale est établie spatialement, à temps constant, pour une pluralité de stations réparties sur une zone à deux dimensions.

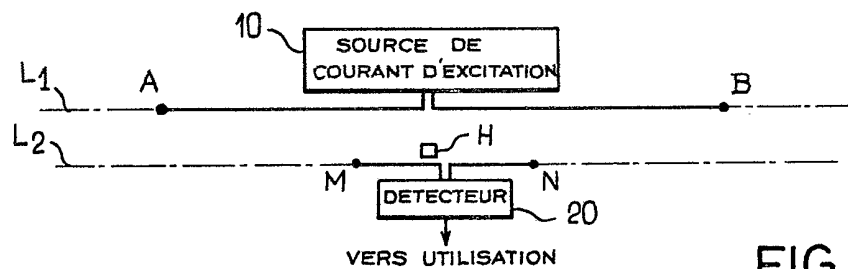
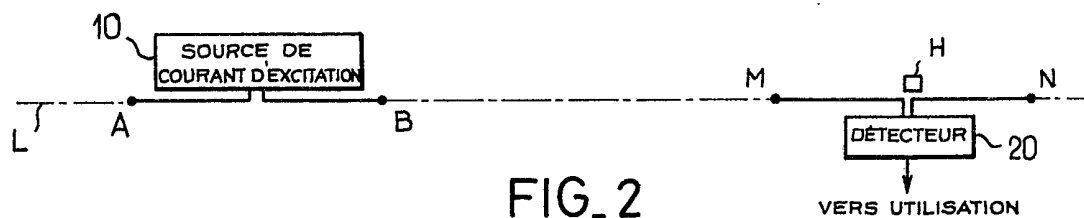
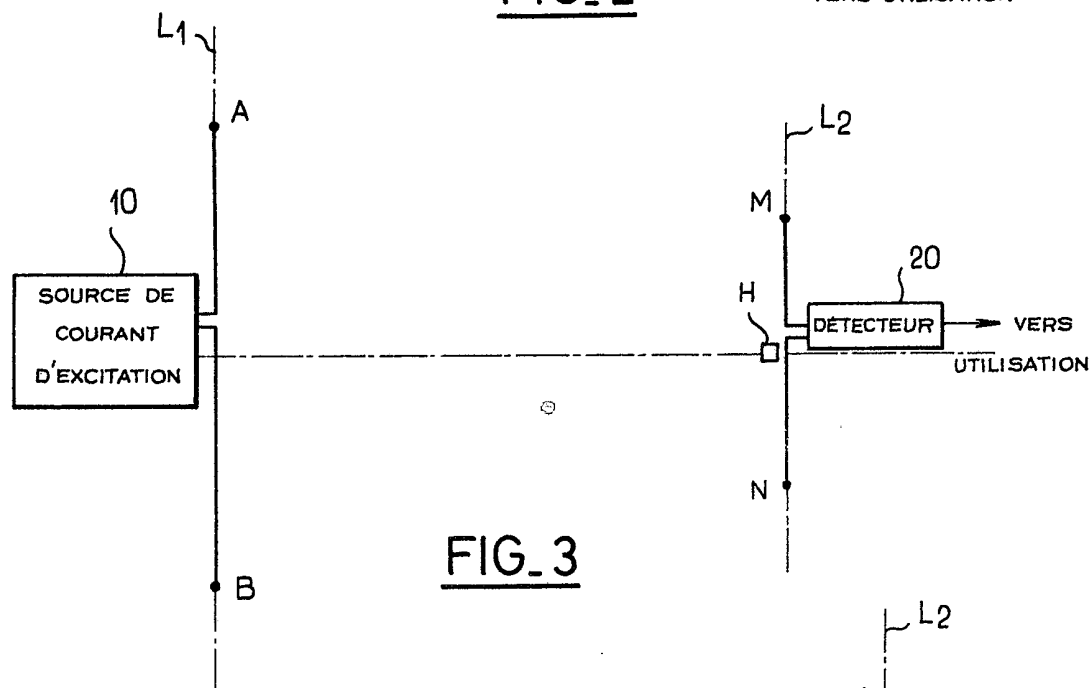
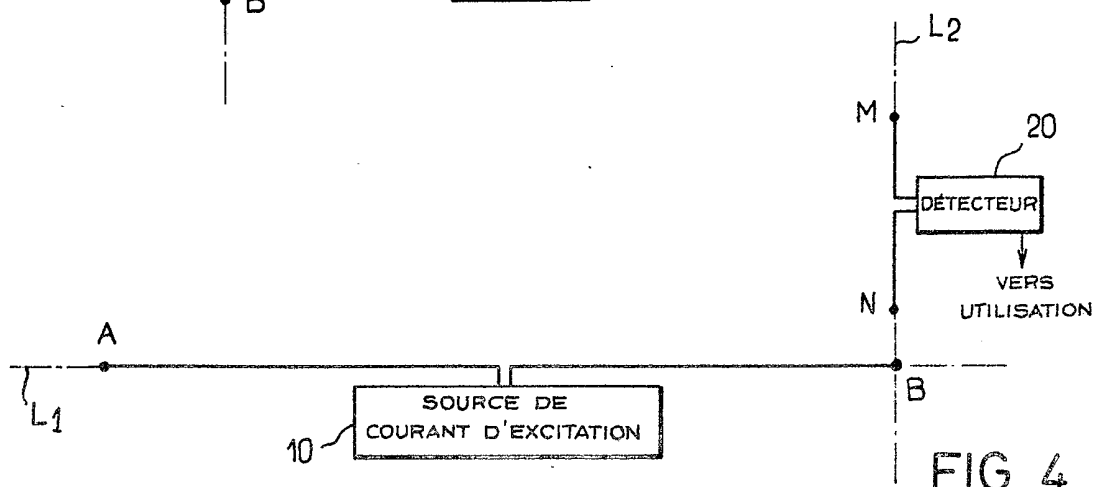
21) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 18 à 20, caractérisé par le fait que la détermination numérique de la courbe régionale comporte la recherche de surfaces géométriques du second degré, approchant les courbes locales sur des zones courantes de dimensions choisies.

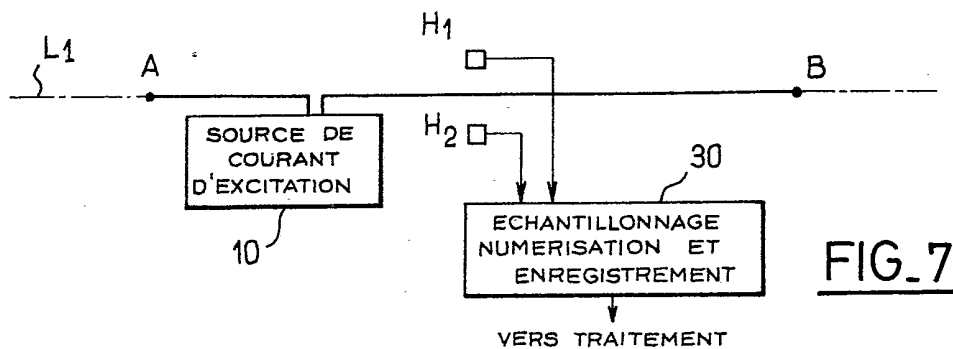
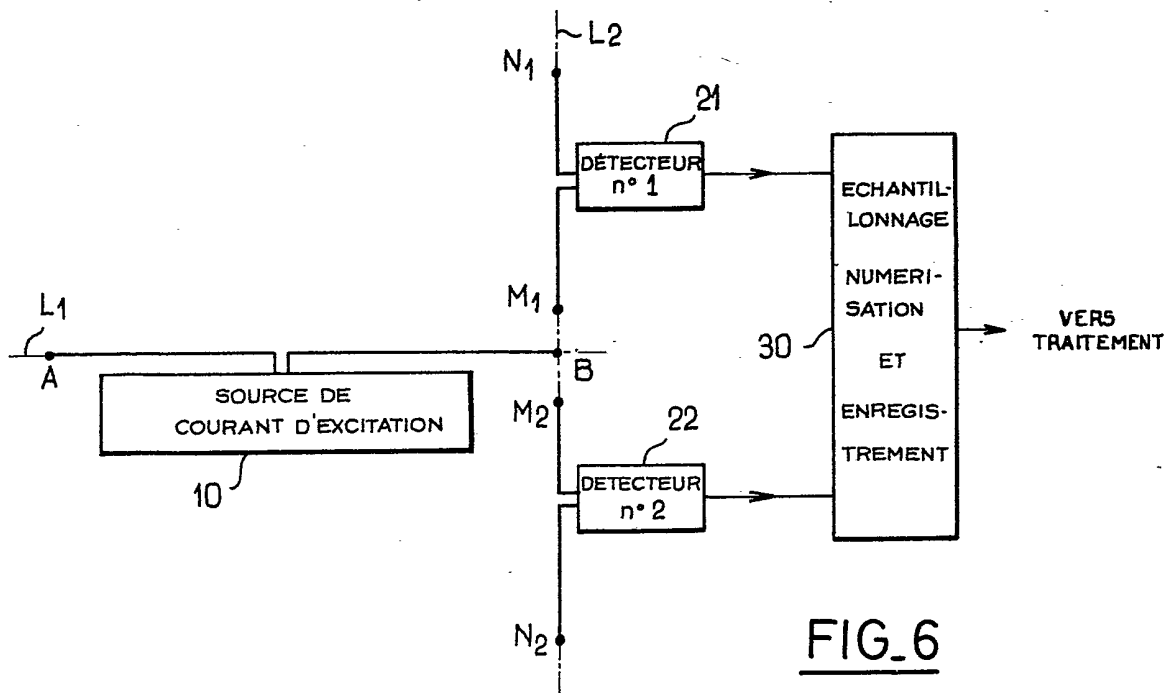
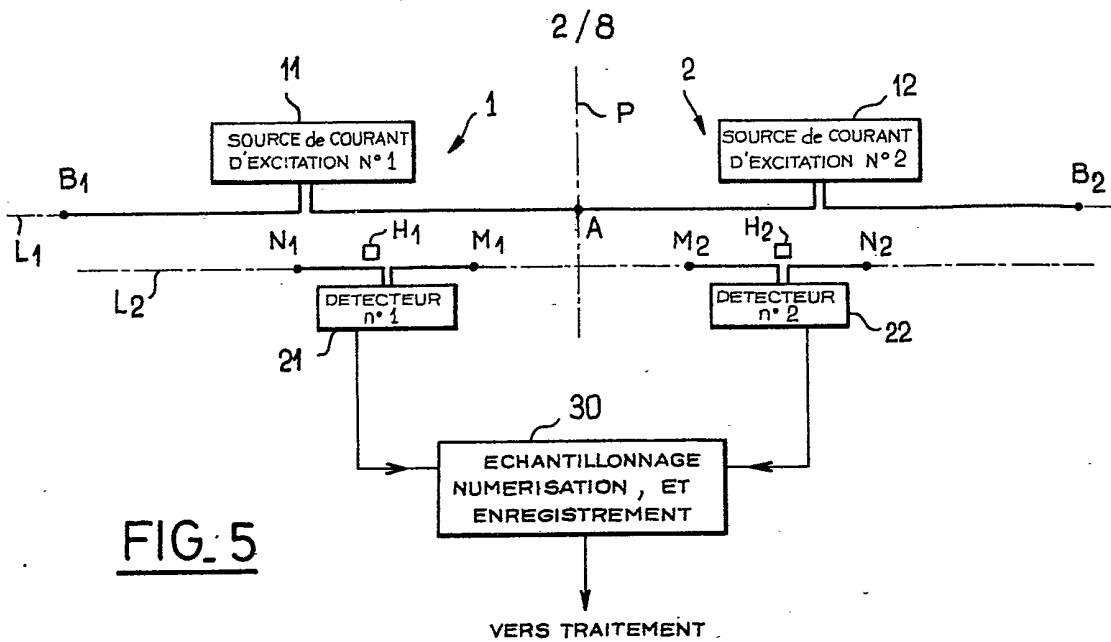
22) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 18 et 19, prises en dépendance de la revendication 13, caractérisé par le fait que la détermination numérique de la courbe régionale comporte le calcul de moyennes simples sur les points qui se correspondent dans les différentes courbes locales.

23) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 18 à 22, caractérisé par le fait que la représentation figurative finale destinée au géophysicien fait intervenir au moins une valeur numérique de chaque représentation numérique résiduelle.

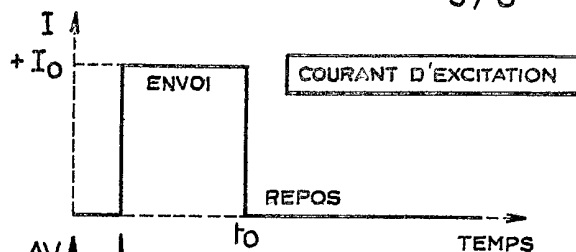
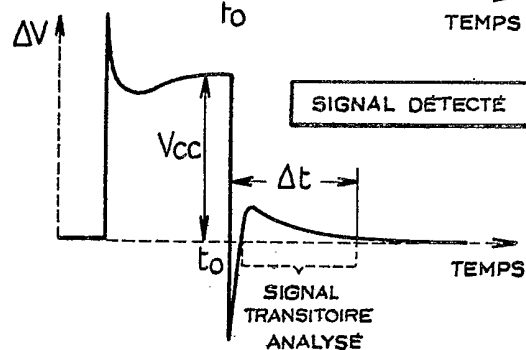
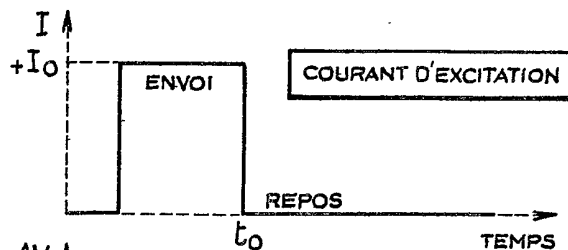
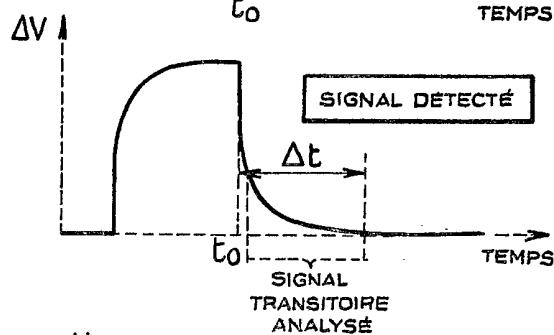
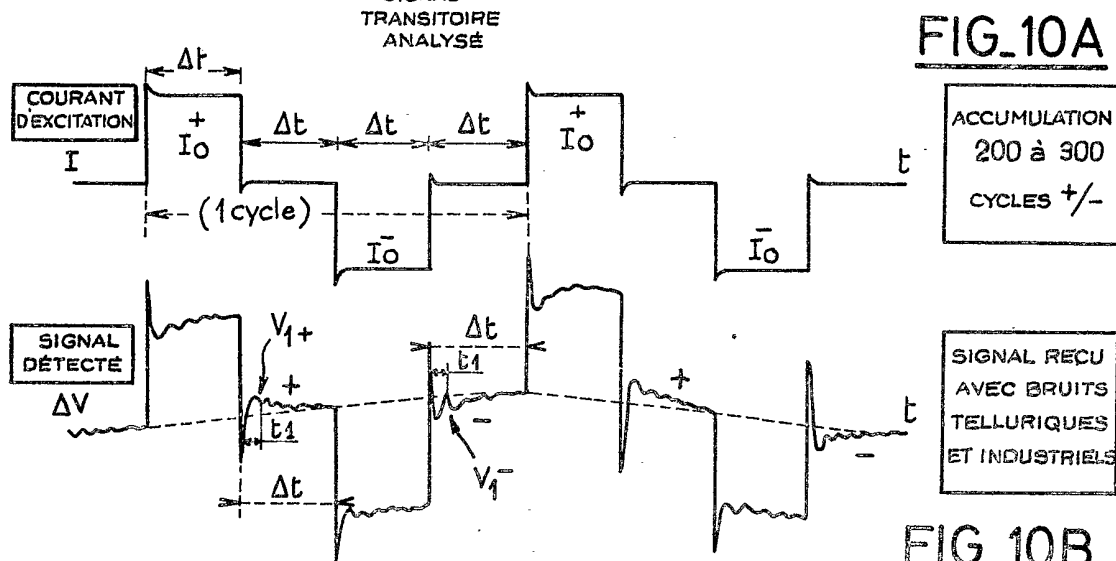
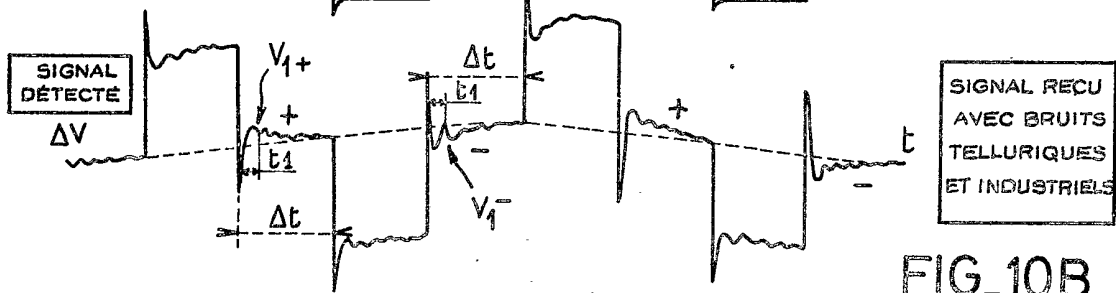
- 24) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 23, caractérisé par le fait que la représentation est en forme de carte, illustrant une valeur numérique définie à un instant donné, pour une pluralité de stations de prospection distribuées sur une zone de terrain à deux dimensions
- 5
- 25) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 23, caractérisé par le fait que la représentation est en forme de section-temps, illustrant, pour une pluralité de stations sensiblement alignées, la variation en fonction du temps du paramètre représenté.
- 10
- 26) Procédé de prospection géophysique selon l'une des revendications 1 à 25, caractérisé par le fait que la représentation comporte une illustration graphique sous
- 15
- forme de points de densité variable.
- 27) Installation de terrain pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 13.

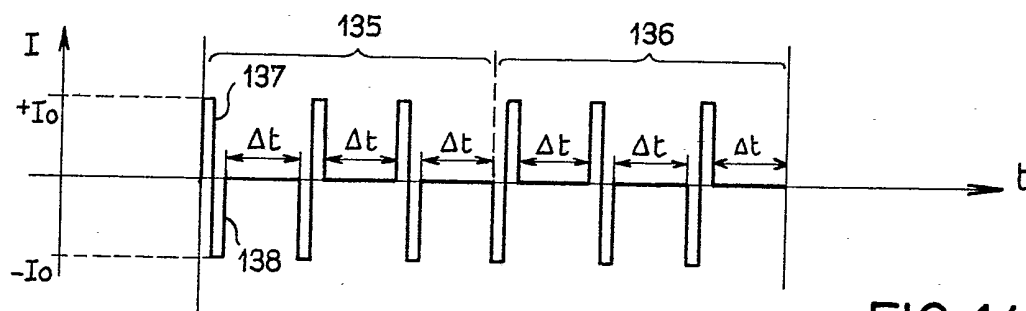
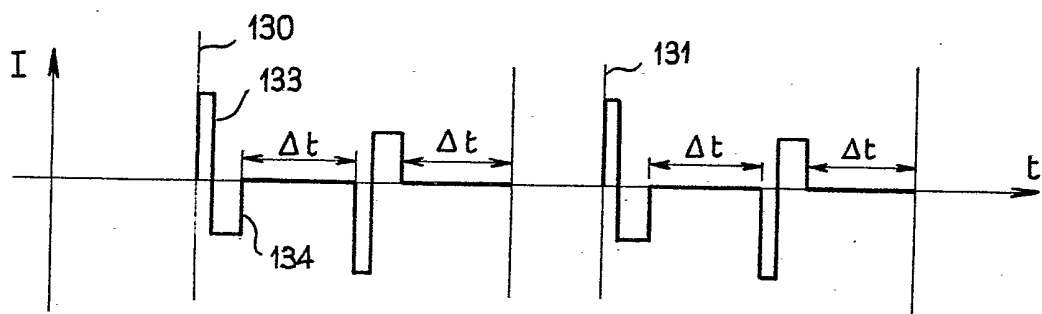
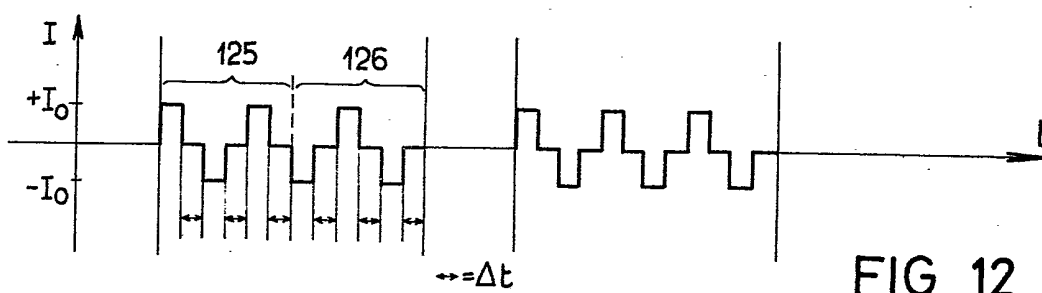
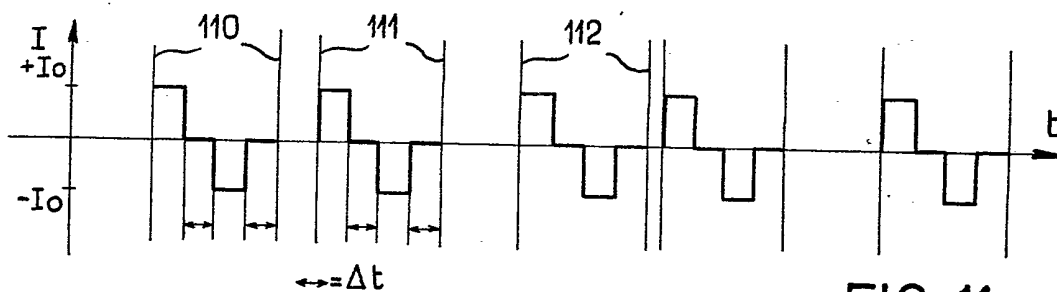
1 / 8

FIG. 1FIG. 2FIG. 3FIG. 4

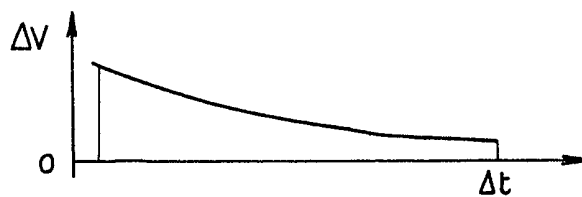
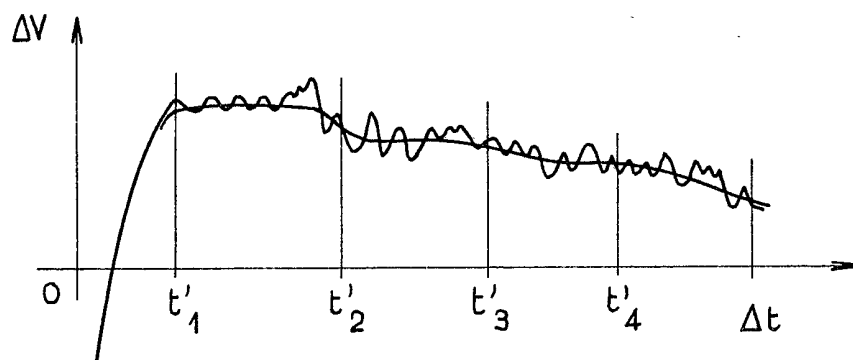


3/8

FIG. 8AFIG. 8BFIG. 9AFIG. 9BFIG. 10AFIG. 10B



5/8

FIG_15FIG_16FIG_17

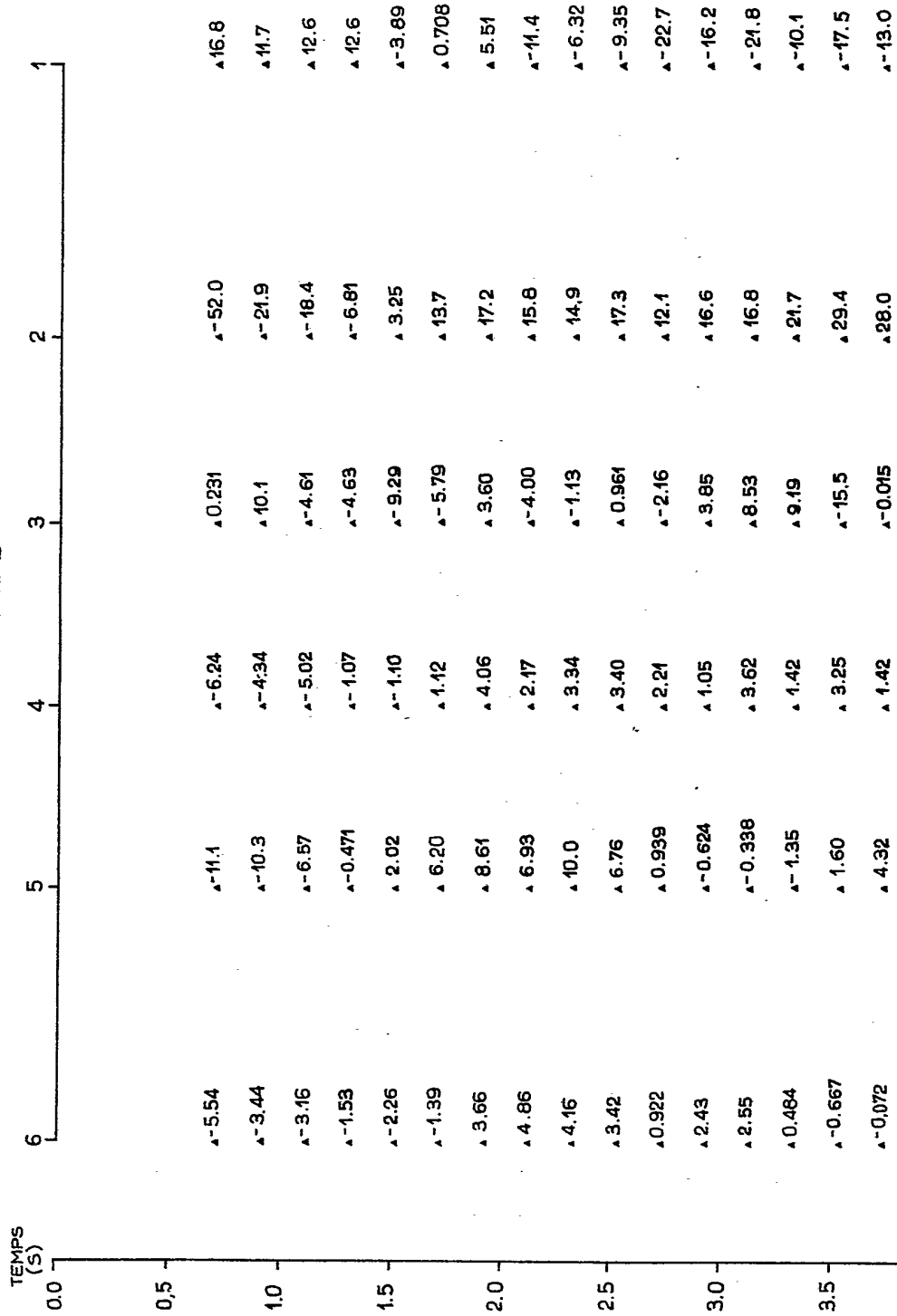
6/8

SECTION TEMPS

RESIDUELLE EN %

PROFIL B

FIG_18



7/8

SECTION TEMPS
Résiduelle en %
(DENSITE VARIABLE)

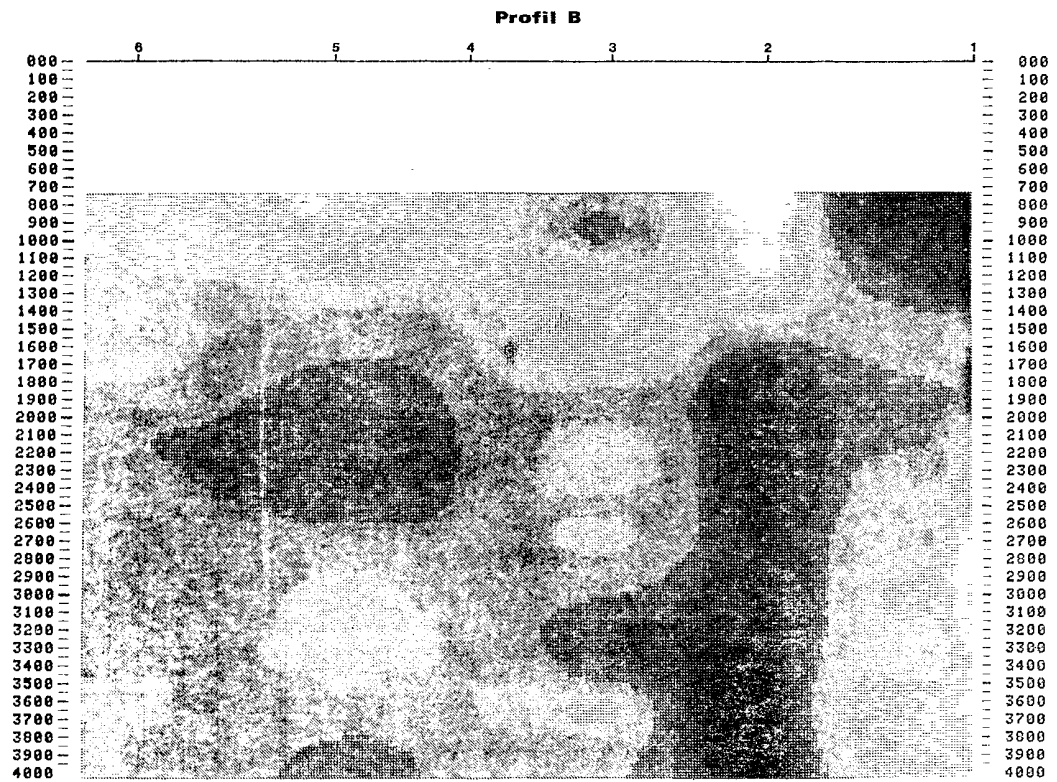


FIG. 19

CARTE DES VALEURS RESIDUELLES
Fenêtre 3,25s (2,80-3,64)

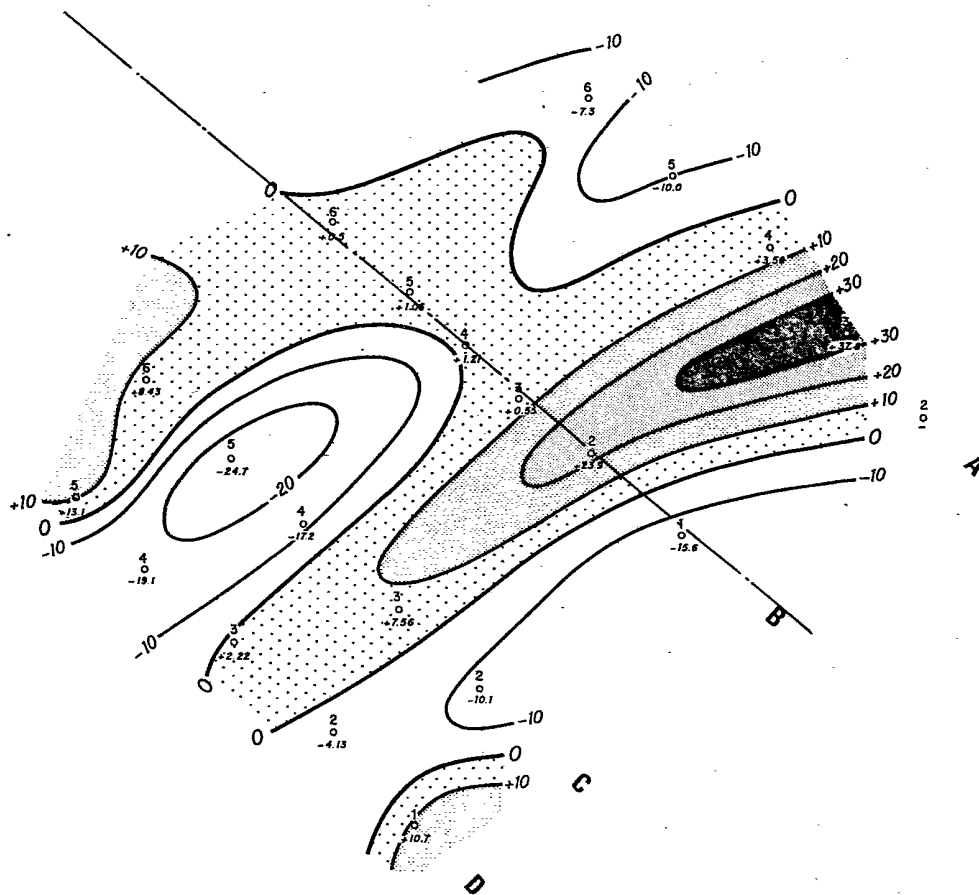


FIG. 20