

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

**2 489 533**

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 81 16482**

(54) Procédé de mesure simultanée des durées de vie des neutrons dans un sondage et les formations de terrain environnantes.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 V 5/10; E 21 B 47/00, 49/00.

(22) Date de dépôt..... 28 août 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : EUA, 28 août 1980, n° 182,171.

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 9 du 5-3-1982.

(71) Déposant : Société dite : HALLIBURTON COMPANY, résidant aux EUA.

(72) Invention de : Harry Davis Smith et Dan McCoy Arnold.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Lavoix,  
2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

La présente invention concerne les mesures effectuées dans un sondage et portant sur les formations de terrain traversées par un sondage. L'invention porte plus particulièrement sur la mesure du temps de décroissance des neutrons thermiques (ou de la durée de vie des neutrons) de formations de terrain à proximité d'un sondage.

La vitesse de décroissance observée de la population de neutrons thermiques à proximité d'un sondage, à la suite d'une impulsion ou d'une bouffée de neutrons d'énergie élevée, peut être représentée approximativement par la somme de termes exponentiels de la formation de terrain et du sondage augmentée d'un terme de fond qui peut varier en fonction des conditions de la formation et du sondage. Dans des conditions caractéristiques qu'on rencontre sur le terrain, la composante de la durée de vie ou du temps de décroissance des neutrons thermiques qui est relative au sondage correspond à une décroissance plus rapide que pour la composante de la durée de vie des neutrons thermiques relative à la formation de terrain. Le principal paramètre intéressant est  $\tau_F$ , c'est-à-dire la durée de vie moyenne des neutrons thermiques dans la formation. Un autre paramètre intéressant est  $\tau_B$ , c'est-à-dire la durée de vie moyenne des neutrons thermiques dans le sondage. L'invention apporte des procédés et un dispositif destinés à la détermination simultanée de ces deux paramètres intéressants.

Le dispositif et les procédés de l'invention utilisent une source de neutrons rapides fonctionnant en régime d'impulsions. Les neutrons rapides sont ralentis (ou modérés) rapidement jusqu'au niveau d'énergie thermique par interaction avec les noyaux des éléments situés dans le sondage, dans les formations de terrain entourant le sondage et dans les fluides contenus dans les pores de telles formations. La durée de vie ou le temps de décroissance des neutrons thermiques pour la formation de terrain est déterminée dans une large mesure par la teneur en sel ou en chlore des formations de terrain. Les matières hydrogénées situées dans les pores et dans le sondage atténuent ou ralenti-

tissent rapidement le flux de neutrons rapides qui est émis par une source de neutrons rapides en régime d'impulsions. Lorsque les neutrons rapides sont ralentis jusqu'au niveau d'énergie thermique, on dit qu'ils sont thermalisés, 5 et ils peuvent alors être capturés par les noyaux des éléments constituant la matrice de la formation et des fluides emplissant la matrice de la formation, ainsi que par les matières présentes dans le sondage, parmi lesquelles le fluide du sondage, les instruments de diagraphie et 10 éventuellement le cuvelage du puits. L'élément chlore présente une section efficace de capture très élevée pour les neutrons thermalisés et on trouve cet élément dans les fluides de sondage à salinité élevée et dans les fluides de formations de terrain contenus dans les pores des 15 formations de terrain à proximité d'un sondage, en présence d'une teneur élevée en sel ( $\text{NaCl}$ ). Ainsi, une mesure du temps de décroissance des neutrons thermiques ou de la durée de vie des neutrons des formations de terrain situées à proximité d'un sondage peut renseigner sur la 20 quantité de fluides salins présents dans les pores des formations. En combinant cette mesure avec des mesures de salinité de l'eau de la formation, des mesures de porosité et des mesures de teneur en schistes de la formation, on obtient une combinaison qu'on peut utiliser pour distinguer 25 le pétrole de l'eau salée emplissant les pores à proximité d'un sondage.

On dispose à l'heure actuelle de deux techniques utilisées de façon commerciale pour mesurer la durée de vie des neutrons thermiques ou le temps de décroissance des 30 neutrons thermiques de formations de terrain à proximité d'un sondage. Dans ces deux techniques utilisées commercialement, on suppose que les matières du sondage ont une section efficace de capture des neutrons thermiques notablement supérieure à celle des formations de terrain environnantes. Conformément à cette supposition, on peut émettre une impulsion ou une bouffée de neutrons à partir d'un instrument de diagraphie situé dans le sondage, et après 35 une durée suffisante pour que les neutrons thermiques pré-

sents dans le sondage lui-même soient pratiquement tous capturés par les noyaux du sondage ayant une section de capture élevée, on peut ignorer la composante de temps de décroissance relative au sondage. On peut alors effectuer

5 des mesures de la vitesse de décroissance de la population de neutrons thermiques dans les formations de terrain. Ces mesures commerciales de durée de vie des neutrons (ou de temps de décroissance des neutrons thermiques) se sont avérées être d'une grande valeur dans l'évaluation du

10 potentiel productif de formations de terrain situées à proximité de sondages équipés d'un cuvelage. Dans ces deux techniques du commerce qui sont disponibles à l'heure actuelle, un instrument de diagraphie qui traverse le sondage utilise une source de neutrons d'énergie élevée

15 (14 MeV), fonctionnant en régime d'impulsions, ces neutrons étant habituellement produits dans un tube accélérateur au deutérium-tritium.

La première technique du commerce disponible à l'heure actuelle constitue ce qu'on appelle la technique

20 "à fenêtre fixe". Dans cette technique, on fait fonctionner la source de neutrons par impulsions répétitives et pour chaque impulsion de neutrons un nuage de neutrons rapides est injecté dans les formations de terrain environnantes, avec une configuration présentant de façon générale une symétrie sphérique par rapport à la source. Le nuage de neutrons rapides se propage à partir de l'outil situé dans le puits en traversant la boue de forage, le cuvelage du sondage, et le ciment situé entre le cuvelage et la formation de terrain qui entoure le sondage, et il

25 pénètre dans les formations de terrain. Dans cette technique, chacune de ces impulsions de neutrons rapides a de façon caractéristique une intensité approximativement constante et a une durée caractéristique allant de 20 à 50  $\mu$ s. Le nombre de neutrons thermiques constituant ce nuage ou

30 population décroît ensuite de façon exponentielle du fait que la capture des neutrons thermalisés par les noyaux des formations de terrain et du sondage.

35

Après une période initiale faisant suite à la

bouffée de neutrons (soit de façon caractéristique environ 300 à 400  $\mu$ s), au bout de laquelle on considère que la distribution résultante de rayons gamma de capture dans le sondage, la boue et le cuvelage s'est pratiquement dissipée, on effectue des mesures du nombre de neutrons thermalisés à proximité de l'outil situé dans le puits, pendant deux intervalles de temps successifs, ou fenêtres, de durée fixe. On peut ensuite utiliser ces mesures effectuées pendant les fenêtres temporelles constantes ou intervalles de temps successifs, pour définir une courbe de décroissance approximativement exponentielle pour la population de neutrons thermiques dans la formation de terrain entourant le sondage.

On fait l'hypothèse selon laquelle la durée qui s'est écoulée depuis la bouffée de neutrons est suffisante pour que la quasi totalité des neutrons thermalisés présents au voisinage du sondage lui-même aient été capturés par les noyaux des éléments du sondage. Cette hypothèse revient à considérer que la composante du temps de décroissance des neutrons thermiques ou de la durée de vie des neutrons thermiques relative au sondage est de façon générale plus courte que la composante du temps de décroissance des neutrons thermiques ou de la durée de vie des neutrons thermiques relative à la formation de terrain. C'est habituellement le cas lorsqu'on rencontre dans le sondage des fluides de forage ayant une teneur élevée en chlore ou en eau salée. Cependant, cette relation n'est pas toujours vérifiée dans des sondages contenant de l'air, un gaz, de l'eau douce ou du pétrole. Il en résulte qu'un avantage particulier de l'invention par rapport à cette technique de mesure de durée de vie des neutrons thermiques "à fenêtre fixe" de l'art antérieur, consiste en ce qu'on ne fait aucune hypothèse sur les caractéristiques relatives des temps de décroissance des neutrons thermiques du fluide du sondage, par rapport aux caractéristiques de temps de décroissance ou de durée de vie des neutrons thermiques des formations de terrain entourant le sondage.

On mesure par déduction la population de neutrons

thermiques dans la formation à proximité du sondage, pendant les deux intervalles de fenêtre de durée fixe suivant chaque impulsion ou bouffée de neutrons, en mesurant les rayons gamma de capture qui résultent de la capture des neutrons thermalisés par les noyaux des matières constituant les formations de terrain et les fluides présents dans les pores de ces formations. A titre d'exemple, les deux intervalles de temps ou fenêtres les plus fréquemment utilisés dans la technique à fenêtre fixe pour la mesure des temps de décroissance des neutrons thermiques peuvent être situés entre 400 et 600  $\mu$ s après la bouffée de neutrons et entre 700 et 900  $\mu$ s après la bouffée de neutrons. On utilise ces valeurs dans des formations de terrain caractéristiques, indépendamment de la salinité du fluide présent dans le sondage. Du fait que ces fenêtres temporelles fixes sont prévues pour un sondage général, indépendamment de la salinité, elles ne sont pas optimisées de façon à donner une cadence de comptage maximale. Les fenêtres étant retardées d'une durée relativement longue après la bouffée, la cadence de comptage pendant les fenêtres est inférieure à l'optimum dans les sondages remplis d'un fluide salin. Ceci peut conduire à une incertitude statistique sur la mesure de  $\Sigma$ .

Si on ignore les effets de diffusion des neutrons, la relation définissant la décroissance d'une population de neutrons thermiques dans un milieu homogène ayant une section efficace de capture  $\Sigma$  pour les neutrons thermiques, au niveau macroscopique, peut s'exprimer de la manière indiquée par l'équation (1) :

$$30 \quad N_2 = N_1 e^{-\Sigma(vt)} \quad (1)$$

dans laquelle  $N_1$  est le nombre de neutrons thermiques à un premier instant  $t_1$ ,  $N_2$  est le nombre de neutrons thermiques présents à un instant ultérieur  $t_2$ ;  $e$  est la base des logarithmes népériens;  $t$  est la durée séparant deux mesures ( $t_2 - t_1$ ); et  $v$  est la vitesse des neutrons thermiques. La section efficace de capture macroscopique des neutrons thermiques  $\Sigma$  d'une roche réservoir (qu'on peut

obtenir à partir de l'équation (1) dépend de sa porosité, de la composition de la matrice, de la teneur en schistes, de la salinité de l'eau de la formation de terrain, et de la quantité et du type du pétrole contenu dans les pores 5 de cette roche. Cette quantité représente donc une mesure ou un paramètre physique intéressant qu'on peut obtenir pour la formation.

La seconde technique commerciale de l'art antérieur disponible à l'heure actuelle pour mesurer le temps 10 de décroissance de neutrons thermiques ou la durée de vie de neutrons thermiques utilise une relation réciproque de la section efficace de capture macroscopique des neutrons thermiques,  $\Sigma$ , qui est définie en faisant intervenir la constante de temps d'absorption des neutrons thermiques, 15  $\tau$ . Une relation analogue à l'équation (1) mais exprimée au moyen de  $\tau$ , s'écrit sous la forme :

$$N = N_0 e^{-t/\tau} \quad (2)$$

avec  $\tau = 1/v\Sigma$ . Dans l'équation (2), N représente la densité de neutrons thermiques à un instant quelconque t ; 20  $N_0$  représente la densité de neutrons thermiques à un instant initial  $t_0$ ; e représente à nouveau la constante qui constitue la base des logarithmes népériens; et  $\tau$  est le temps nécessaire pour que la population de neutrons thermiques décroisse jusqu'à la fraction 1/e de sa valeur à 25  $t_0$ .

Lorsqu'on mesure le temps de décroissance des neutrons thermiques en utilisant la seconde technique de l'art antérieur, appelée technique "à fenêtre glissante", l'instrument de diagraphie émet dans la formation une impulsion ou une bouffée de neutrons rapides dont la durée est effectivement commandée et liée aux valeurs mesurées précédemment de  $\tau$  pour les formations de terrain. Par exemple, la durée de l'impulsion de neutrons peut être d'un  $\tau$ . On utilise des détecteurs de rayons gamma pour obtenir des comptages de rayons gamma de capture pendant deux intervalles de temps successifs suivant la génération d'un nuage de neutrons 30 35

à proximité du sondage, afin de définir la courbe de décroissance exponentielle. Cependant, dans cette technique les deux intervalles utilisés pour mesurer la population de rayons gamma afin de définir la courbe de décroissance exponentielle n'ont pas une durée fixe ou un point de départ fixe à la suite de la bouffée de neutrons. On utilise la valeur de  $\tau$  mesurée précédemment pendant le cycle de bouffée de neutrons précédent pour établir la durée de la bouffée de neutrons pour la génération des neutrons rapides, ainsi que l'intervalle d'attente jusqu'à l'ouverture de la première fenêtre temporelle qui suit la bouffée, la durée de la première fenêtre temporelle, la durée de la seconde fenêtre temporelle et l'intervalle d'attente entre les déclenchements des première et seconde fenêtres temporelles.

Toutes ces durées sont réglées de façon à satisfaire une relation prédéterminée par rapport à  $\tau$ . Par exemple, la durée de la seconde fenêtre de mesure peut être de deux  $\tau$ . On peut utiliser un intervalle d'attente de deux  $\tau$  à la suite de la première bouffée de neutrons, avant l'ouverture de la première fenêtre. La première fenêtre peut avoir une durée d'un  $\tau$ .

Dans les deux systèmes de l'art antérieur décrits précédemment qui sont destinés à déterminer la durée de vie ou le temps de décroissance des neutrons thermiques, la source de neutrons et un détecteur sont les seuls éléments essentiels pour la mesure. Cependant, dans les deux techniques du commerce dont on dispose, on emploie des détecteurs doubles espacés et on utilise les mesures du rayonnement gamma de capture dû aux neutrons thermiques, effectuées par les détecteurs, pour générer des approximations ou des mesures de la porosité des formations de terrain à proximité du sondage. Le dispositif de l'invention emploie également deux détecteurs et peut effectuer des mesures de porosité.

Comme on l'a envisagé précédemment, les deux techniques commerciales disponibles à l'heure actuelle pour la mesure du temps de décroissance des neutrons thermiques utilisent l'hypothèse selon laquelle le temps de décroissance

des neutrons thermiques du sondage est notablement inférieur à celui des formations de terrain voisines du sondage et peut donc être séparé par une temporisation sur une durée correspondant à la composante du sondage. Dans les 5 techniques à fenêtre glissante on peut utiliser une fenêtre temporelle de fond, pendant un intervalle de temps situé de façon générale à la suite des deux fenêtres de détection utilisées pour les mesures de  $\bar{\tau}$  ou  $\Sigma$ , afin de mesurer le rayonnement gamma de fond qui est dû aux événements de capture de neutrons dans le sondage et les formations de terrain qui entourent le sondage. Après une normalisation appropriée, ces comptages de fond sont de façon générale soustraits des comptages effectués pendant les deux fenêtres de mesure dans un tel système, afin 15 de faire disparaître l'influence du rayonnement gamma naturel de fond qui est présent à proximité du sondage et de tout rayonnement de fond que la source de neutrons peut induire dans les détecteurs de rayons gamma et dans la formation. Il convient de noter que les deux systèmes 20 de diagraphie du commerce décrits précédemment n'utilisent pas toute l'information de comptage de rayons gamma dont on peut disposer à la suite de chaque bouffée de neutrons. Les intervalles de temps au cours desquels les détecteurs ne sont pas validés de façon à accepter l'information sont 25 perdus dans ces deux systèmes de l'art antérieur. Ainsi, les techniques de l'art antérieur ne font pas une pleine utilisation du flux de neutrons émis par le générateur de neutrons. De façon similaire, les deux techniques de l'art antérieur font intervenir l'hypothèse selon laquelle la 30 durée de vie des neutrons thermiques ou le temps de décroissance des neutrons thermiques de la formation peut être séparée de façon pratiquement complète de celui de la composante du sondage, par l'établissement de fenêtres temporelles. Cette hypothèse n'est pas entièrement valide, 35 même dans des conditions idéales. L'invention utilise des techniques et des dispositifs qui évitent chacune de ces hypothèses et limitations de l'art antérieur.

Selon l'invention, on déplace un outil de diagra-

phie dans le sondage et cet outil comporte une source de neutrons rapides fonctionnant en régime d'impulsions et deux détecteurs de rayonnement. La source de neutrons génère une impulsion de neutrons rapides d'intensité appro-

5 ximativement constante, pendant une durée comprise entre 10 et 30  $\mu$ s. Ces neutrons sont introduits dans les milieux qui constituent le sondage et les formations environnantes et ils donnent lieu à la génération d'une population de neutrons thermiques, sous l'effet du ralentissement des

10 neutrons rapides dans les milieux des formations de terrain et dans le sondage. Après une très courte pause destinée à permettre la modération des neutrons rapides, à la suite de l'impulsion de neutrons, les détecteurs sont validés et le rayonnement gamma de capture qui résulte de

15 la capture des neutrons thermiques dans le sondage et les formations de terrain situées à proximité du sondage est enregistré d'une manière pratiquement continue jusqu'à ce que la bouffée de neutrons suivante soit sur le point de commencer. Pendant les fenêtres temporelles multi-

20 ples qui apparaissent pendant cet intervalle pratiquement continu, on observe la cadence de comptage des rayons gamma de capture dans six, ou plus, fenêtres temporelles pratiquement contiguës. Les mesures des cadences de comptage au cours de fenêtres temporelles multiples sont

25 transmises à un calculateur de durée de vie des neutrons thermiques qui calcule les composantes de durée de vie des neutrons pour la formation de terrain et pour le sondage, en effectuant une identification analytique de courbe au sens des moindres carrés portant sur ces données de caden-

30 ce de comptage prélevées pendant six, ou plus, fenêtres temporelles pratiquement contiguës à la suite de chaque bouffée de neutrons. Le calculateur de durée de vie des neutrons thermiques est validé de façon à calculer à la fois, simultanément, la composante de durée de vie des

35 neutrons thermiques relative au sondage et la composante de durée de vie des neutrons thermiques relative à la formation de terrain. Environ une fois par seconde, et pendant environ 5% du cycle de fonctionnement d'une seconde, la

source de neutrons est arrêtée et les détecteurs sont utilisés pour déterminer la présence éventuelle d'une cadence de comptage de fond, correspondant à une durée de vie relativement longue, relative à une activité de rayonnement

5 gamma induite par les neutrons de la source dans le détecteur de rayonnements gamma, la formation, le sondage ou la sonde de diagraphie, ou à un rayonnement gamma naturel à proximité du sondage. Cette information de rayonnement gamma de fond est ensuite normalisée de façon appropriée

10 et soustraite des six, ou plus, mesures de rayons gamma de capture de neutrons thermiques qui sont effectuées dans les fenêtres temporelles à la suite de chaque bouffée de neutrons.

Des dispositifs électroniques sont placés dans l'outil situé dans le sondage ainsi qu'en surface pour produire la séquence de mesure et les impulsions de neutrons de la manière décrite. En outre, des impulsions de synchronisation sont également générées de façon à procurer un moyen pour séparer les comptages de rayons gamma représentatifs de la capture de neutrons thermiques pendant chacune des six, ou plus, parties de fenêtre du cycle de mesure, de la manière décrite précédemment. Il existe de plus un calculateur placé en surface ayant pour but de déterminer les temps de décroissance, ou durées de vie, des neutrons thermiques correspondant à la composante du sondage et à la composante des formations de terrain, et ce calculateur est associé à un enregistreur de diagraphie dans lequel un support d'enregistrement peut être déplacé en fonction de la profondeur dans le sondage, pendant qu'on déplace l'instrument de diagraphie dans le sondage. Les composantes de durée de vie des neutrons thermiques qui correspondent à la formation de terrain et au sondage peuvent être tracées sur cet enregistreur en fonction de la profondeur dans le sondage. L'invention met ainsi en oeuvre des techniques permettant de déterminer simultanément la valeur du temps de décroissance des neutrons thermiques ou de la section efficace de capture macroscopique des neutrons thermiques pour le sondage et pour les milieux envi-

ronnants.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre de modes de réalisation et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

5 La figure 1 est une représentation schématique d'un dispositif de diagraphe correspondant à l'invention.

La figure 2 est un schéma synoptique représentant le dispositif électronique du dispositif de diagraphe de l'invention.

10 La figure 3 est un graphique montrant la courbe de décroissance de la population de neutrons thermiques composite et les fenêtres temporelles, conformément à un mode de réalisation de l'invention.

15 La figure 4 est un graphique montrant une séquence de télémétrie en fonction du temps conformément à l'invention.

La figure 5 est un graphique montrant la courbe de décroissance de la population de neutrons thermiques composite et les fenêtres temporelles conformément à un  
20 second mode de réalisation de l'invention.

La figure 6 est une représentation schématique d'une séquence de télémétrie en fonction du temps pour la configuration de fenêtres de la figure 5.

25 La figure 7 est un organigramme montrant un mode de mise en oeuvre d'un procédé permettant à un calculateur de surface d'obtenir des paramètres intéressants des formations de terrain.

Les techniques de l'art antérieur envisagées précédemment pour la détermination de la durée de vie ou du  
30 temps de décroissance des neutrons thermiques peuvent rencontrer deux difficultés principales. Ces deux difficultés principales sont les suivantes : (1) dans certaines conditions des formations de terrain et du sondage, la composante relative au sondage n'a pas décrue jusqu'à un niveau négligeable avant le début de la séquence de validation des détecteurs, pour déterminer la durée de vie des neutrons, ce qui conduit à une mesure erronée de  $\tau_F$ ; et (2) la précision statistique de  $\tau_F$  est quelquefois très mauvaise du fait

que les échantillons de vitesse de décroissance doivent être prélevés au bout d'intervalles de temps relativement longs après la bouffée de neutrons, afin de minimiser les effets de la composante du sondage.

- 5        Une troisième difficulté relative aux techniques de diagraphie par durée de vie de neutrons de l'art antérieur a été envisagée initialement par Mills, et col. dans un article intitulé "Pulsed Neutron Experiments in a Borehole Model", Mills, et col., Nuclear Science and
- 10      Engineering, Vol. 21, pages 346-356 (1965). L'article précédent montre que même si on calcule  $\tau_F$  à partir de données de cadence de comptage prélevées avec des retards suffisants pour que la composante relative au sondage décroisse jusqu'à un niveau négligeable, la valeur calculée de  $\tau_F$
- 15      demeure fonction de  $\tau_B$ , c'est-à-dire la durée de vie des neutrons thermiques à l'intérieur du sondage. On peut considérer que ceci est dû à une rétrodiffusion continue des neutrons thermalisés vers le sondage, à partir de la formation, même après que la population "d'origine" des neutrons
- 20      thermiques du sondage a décrue par capture jusqu'à un niveau faible. Ainsi, les deux techniques de l'art antérieur ne tiennent aucun compte de l'effet qui est produit par cette troisième difficulté. Cependant, l'invention tient compte des effets correspondant à l'ensemble des trois
- 25      difficultés et elle conduit à une mesure de la durée de vie ou du temps de décroissance des neutrons thermiques beaucoup plus fiable que celles qu'on pouvait obtenir jusqu'à présent.

- Pour effectuer des déterminations précises de saturation en hydrocarbures par diagraphie basée sur la durée de vie ou le temps de décroissance de neutrons émis par impulsions, les trois critères suivants doivent être satisfaits:
- 30      (1) La durée de vie observée  $\tau_F$  de la composante relative à la formation doit être calculée à partir de données de cadence de comptage qui ne contiennent aucune contribution provenant de la capture de neutrons à l'intérieur du sondage ;

- (2) La précision statistique de  $\tau_F$  doit être aussi

grande que possible ; et

(3) la durée de vie moyenne intrinsèque de la composante relative à la formation,  $\tau_{Fi}$ , doit être déterminée avant d'effectuer les calculs de saturation en hydrocarbures.

Conformément à l'article précité de Mills, et col., la durée de vie mesurée peut être liée à  $\tau_{Fi}$ , la durée de vie intrinsèque seule, si on connaît  $\tau_B$ . Il est donc souhaitable de mesurer à la fois et simultanément la composante relative à la formation,  $\tau_F$ , et la composante relative au sondage,  $\tau_B$ , de la durée de vie ou du temps de décroissance des neutrons thermiques, pour obtenir la précision maximale.

Comme on l'a envisagé précédemment, la vitesse de décroissance observée de la population de neutrons thermiques à proximité d'un sondage, à la suite d'une bouffée de neutrons d'énergie élevée, peut être exprimée par la somme d'une composante relative à la formation, d'une composante relative au sondage et d'une composante de fond. On peut exprimer ceci mathématiquement par l'équation (3) :

$$C(t) = Ae^{-t/\tau_B} + Be^{-t/\tau_F} + C_B \quad (3)$$

Dans l'équation (3),  $C(t)$  est la cadence de comptage à un instant quelconque  $t$  mesuré à partir d'un instant de référence. A et B sont des constantes qui peuvent être interprétées conformément à la figure 3, A représentant la composante initiale du sondage à l'instant de référence égal à 0, tandis que B représente la composante initiale de la formation à l'instant de référence égal à 0. Ces composantes sont représentées sur la figure 3 par des points d'intersection sur l'axe des ordonnées d'un graphique tracé en fonction du temps. Dans l'équation (3),  $\tau_B$  représente la composante du sondage de la durée de vie composite des neutrons thermiques. La quantité  $\tau_B$  peut être considérée comme étant la pente de la courbe de la composante du sondage sur la figure 3. De façon similaire,  $\tau_F$  représente la composante de durée de vie de la forma-

tion de la durée de vie composite des neutrons et on peut la considérer comme étant la pente de la courbe de la composante de la formation de la figure 3. Enfin,  $C_B$  représente la composante de la cadence de comptage qui est due au rayonnement à longue durée de vie et on peut la considérer comme une composante constante, comme le montre la ligne horizontale portant la mention "FOND" sur la figure 3. La courbe de décroissance composite des neutrons thermiques qui est représentée sur la figure 3 correspond à la résultante ou à la sommation de la courbe de la composante du sondage, de la courbe de la composante de la formation et de la courbe de la composante de fond qui sont représentées sur cette figure.

Dans la technique de l'invention, on mesure la composante de fond  $C_B$  au cours d'une partie séparée du cycle de fonctionnement, comme le montre la figure 4. On va maintenant considérer la figure 4 qui montre la représentation en fonction du temps d'un train de signaux de télémesure provenant d'un instrument situé dans le sondage et qu'on décrira ultérieurement de façon plus détaillée. Une impulsion de synchronisation commence chaque cycle de fonctionnement de l'instrumentation située dans le sondage. Cette impulsion de synchronisation est immédiatement suivie d'une bouffée de neutrons d'intensité approximativement constante, ayant une durée qu'on décrira ultérieurement de façon plus détaillée. Six intervalles de fenêtre temporelle, ou davantage, suivent chaque bouffée de neutrons et pendant ces intervalles des mesures de cadence de comptage sont effectuées dans un détecteur distant de la source et sont transmises vers la surface. Les intervalles multiples de fenêtre temporelle sont pratiquement contigus et durent pendant un total d'environ 1 ms à la suite de chaque impulsion de synchronisation. Ce cycle de fonctionnement répétitif est répété environ 1000 fois pendant un intervalle d'une seconde. A la fin d'un intervalle de 945 ms, on utilise une fenêtre de fond représentée sur la figure 4 pour compter le rayonnement de fond correspondant à  $C_B$  sur la figure 4. Pendant cet intervalle de

55000  $\mu$ s ou 55 ms, le générateur de neutrons ne fonctionne pas. Par conséquent, les mesures effectuées pendant cet intervalle de temps, après environ 5 ms pour permettre au rayonnement de capture thermique suivant la dernière bouffée séquentielle de neutrons d'atteindre un niveau négligeable, ne contiennent qu'une information de comptage relative au rayonnement attribuable au fond. Cette information de comptage de rayonnement de fond est transmise par télémétrie vers la surface par le dispositif situé dans le sondage et elle est traitée de la manière qu'on décrira ultérieurement de façon plus détaillée.

Lorsqu'on mesure la cadence de comptage de fond  $C_B$  de la manière décrite et qu'on la transmet en surface par télémétrie, on peut la soustraire de la cadence de comptage composite  $C(t)$  de l'équation (3), pour obtenir une cadence de comptage résultante  $C'(t)$ , conformément à l'équation (4) :

$$C'(t) = C(t) - C_B = Ae^{-t/\tau_B} + Be^{-t/\tau_F} \quad (4)$$

Dans l'équation (4), tous les symboles ont été définis précédemment.

Dans le procédé de l'invention, tel que le montrent les figures 3 et 4, six (ou plus) cadences de comptage mesurées pendant les six fenêtres temporelles qui suivent la bouffée de neutrons et qui sont désignées par  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  et  $T_6$ , sont combinées par une technique d'identification de courbe au sens des moindres carrés. Les mesures de cadence de comptage effectuées dans les six fenêtres temporelles peuvent donner lieu à une identification de courbe en temps réel dans un calculateur situé en surface, par exemple, afin d'obtenir les paramètres intéressants dans les équations (3) et (4). Les procédures d'identification donnent  $\tau_F$ ,  $\tau_B$ , A et B, comme il a été indiqué précédemment. On observera que les six (ou plus) intervalles de fenêtre temporelle approximativement contigus qui sont représentés sur la figure 3 présentent un retard minimal ou négligeable entre chaque fenêtre. Par conséquent, la totalité de l'information de cadence de

comptage (après un court intervalle de temps de modération entre la fin de la bouffée de neutrons et l'ouverture de la première fenêtre temporelle, cette durée de modération étant de façon caractéristique de l'ordre de 20 à 5 30  $\mu$ s) est utilisée dans le procédé de l'invention. Aucune information de comptage n'est perdue du fait de l'attente de la décroissance d'une composante de sondage. En outre, du fait que cette technique détermine simultanément  $\tau_F$  et  $\tau_B$ , le critère de l'article de Mills, et col. mentionné précédemment est satisfait.

On va maintenant considérer les figures 5 et 6 qui représentent schématiquement une autre mise en oeuvre de fenêtres temporelles employant les techniques de l'invention. On voit sur la figure 5 un intervalle correspondant 15 à une bouffée de neutrons d'une durée de 15 à 20  $\mu$ s, un intervalle de temps de modération de 20 à 30  $\mu$ s qui suit la bouffée, et ensuite une fenêtre temporelle, portant la désignation "FENETRE 1" qui est ouverte pendant une durée relativement courte. On utilise une fenêtre temporelle 20 légèrement plus large ou de durée légèrement plus longue. Les fenêtres temporelles suivantes 3, 4, 5 et 6 ont chacune une durée supérieure à celle de la fenêtre qui les précède, dans la séquence de fenêtres temporelles. Cette configuration des fenêtres temporelles a pour but d'optimiser au point de vue statistique les cadences de comptage dans chacune des fenêtres. Au fur et à mesure de la descente de la courbe de décroissance composite de la population de neutrons thermiques, les fenêtres temporelles de 25 largeur successivement croissante permettent l'apparition d'un nombre de coups plus élevé à la cadence de comptage inférieure des fenêtres temporelles qui apparaissent plus tard. Les tableaux 1 et 2 ci-après indiquent les durées réelles qui sont envisagées pour les configurations de 30 fenêtres temporelles représentées sur les figures 3 et 5. 35 (dans les tableaux 1 et 2, toutes les durées sont mesurées par rapport à l'instant de référence 0 au début de la bouffée de neutrons).

TABLEAU 1

CONFIGURATION DE FENETRES TEMPORELLES DE LA FIGURE 3

N° de fenêtre		Instant initial	Instant final	Durée
5	1	50 µs	195 µs	145 µs
	2	200 µs	345 µs	145 µs
	3	350 µs	495 µs	145 µs
	4	500 µs	645 µs	145 µs
	5	650 µs	795 µs	145 µs
	10	800 µs	945 µs	145 µs

TABLEAU 2

CONFIGURATION DE FENETRES TEMPORELLES DE LA FIGURE 5

N° de fenêtre		Instant initial	Instant final	Durée
15	1	60 µs	90 µs	30 µs
	2	90 µs	140 µs	50 µs
	3	140 µs	200 µs	60 µs
	4	200 µs	300 µs	100 µs
	5	300 µs	500 µs	200 µs
	20	500 µs	998 µs	448 µs

Les courts intervalles de temps (5 µs) entre les fenêtres temporelles du tableau 1 sont établis pour tenir compte du temps nécessaire pour transférer le contenu d'un compteur vers une mémoire tampon dans les circuits électroniques de l'outil situé dans le sondage, qu'on décrira ultérieurement. Des intervalles courts similaires seraient nécessaires pour les fenêtres temporelles de la figure 2, mais ils ne sont pas indiqués dans le tableau, dans un but de simplicité. On notera qu'on désire faire en sorte que les fenêtres temporelles des tableaux 1 et 2 correspondent à des durées aussi contiguës que possible, compte tenu des

limitations de temps des circuits électroniques.

La figure 6 représente un train de signaux de télémesure résultant de la configuration de fenêtres temporelles qui est représentée sur la figure 5. Une impulsion de synchronisation est émise vers la surface par les circuits électroniques situés dans le sondage. Cette impulsion est suivie par la bouffée de neutrons et l'instant de référence coïncide avec la fin de la bouffée de neutrons. L'intervalle de temps de modération de courte durée, de 10 à 10  $\mu$ s, s'écoule ensuite, puis un nombre représentant le comptage effectué dans la fenêtre temporelle 1, désignée par  $G_1$  sur la figure 6, est transmis par télémesure vers la surface. De façon similaire, des nombres représentant les comptages dans les fenêtres 2 à 6 sont transmis vers la surface. Cette séquence se prolonge pendant 945 ms. L'intervalle de fenêtre de fond de 50 ms est ensuite déclenché de la manière décrite précédemment en relation avec la figure 4. De toute manière, les cadences de comptage  $C(t_i)$ , avec  $i = 1$  à 6, sont transmises par télémesure vers la surface où elles sont employées dans un calculateur de surface (qu'on décrira ultérieurement de façon plus détaillée), pour mettre en oeuvre une technique d'identification de courbe au sens des moindres carrés, afin d'extraire les paramètres intéressants.

Du fait que l'équation (4) est non linéaire, il est nécessaire d'utiliser une procédure d'identification itérative pour l'identification au sens des moindres carrés. Une procédure particulière d'identification sera envisagée ultérieurement et sera décrite de façon plus détaillée en relation avec la figure 7. Il suffit cependant de dire pour l'instant que les paramètres intéressants sont obtenus à l'aide du calculateur de surface, au moyen d'une procédure d'identification itérative au sens des moindres carrés. Les valeurs de  $\tau_F$ ,  $\tau_B$ , A et B peuvent ensuite être enregistrées en fonction de la profondeur dans le sondage, d'une manière classique.

On va maintenant considérer la figure 1 qui représente schématiquement un dispositif de diagraphie conforme aux

principes de l'invention. Un sondage 10 est empli d'un fluide de sondage 11 et il traverse des formations de terrain 20 à étudier. Une sonde de diagraphie 12 est suspendue dans le sondage 10 au moyen d'un câble de diagraphie armé 5 13, de type classique, d'une manière connue, de façon qu'il soit possible de faire monter et descendre la sonde 12 dans le sondage de la manière désirée. Le câble de diagraphie 13 passe sur une poulie 14 à la surface. La poulie 14 est accouplée électriquement ou mécaniquement, comme l'indique 10 la ligne en pointillés 15, à un enregistreur de diagraphie 18 qui peut comporter un enregistreur optique ou une bande magnétique, ou les deux, comme il est connu. Les mesures effectuées par la sonde 12 située dans le sondage peuvent ainsi être enregistrées en fonction de la profondeur de 15 la sonde 12 dans le sondage.

Dans la sonde 12 située dans le sondage, un générateur de neutrons 21 est alimenté par une alimentation à haute tension 22 de façon à recevoir une haute tension (environ 100 kV) pour son fonctionnement. Des circuits 20 électroniques de commande et de télémesure 25 sont utilisés pour appliquer des signaux de commande à l'alimentation à haute tension et au générateur de neutrons 21, et pour transmettre par télémesure vers la surface, par le câble de diagraphie 13, l'information résultant des mesures faites par l'instrument qui se trouve dans le sondage. 25

Deux détecteurs de rayonnement 23 et 24 sont espacés longitudinalement par rapport au générateur de neutrons 21. Les détecteurs de rayonnement 23 et 24 peuvent consister par exemple en cristaux d'iodure de sodium activé par du 30 thallium qui sont en couplage optique avec des tubes photomultiplicateurs. Les détecteurs 23 et 24 ont pour fonction de détecter le rayonnement gamma produit dans les formations environnantes 20 qui résulte de l'action du générateur de neutrons 21 qui émet des neutrons. Une matière de blindage 35 pour les neutrons, 28, contenant un corps à densité élevée ou à section efficace de diffusion élevée, est intercalée entre le générateur de neutrons 21 et les deux détecteurs espacés 23 et 24, afin d'éviter une irradiation directe des

détecteurs par les neutrons qui sont émis par le générateur de neutrons 21. Un blindage 29 peut également être intercalé si on le désire entre les détecteurs 23 et 24.

Au moment de la mise en fonction du générateur de neutrons 21, une bouffée ou une impulsion de neutrons d'une durée d'environ 10 à 30  $\mu$ s est générée et est émise dans le sondage 10 et le fluide du sondage 11, et elle traverse le cuvelage d'acier 26 et la couche de ciment 27 entourant le cuvelage d'acier, pour pénétrer dans les formations de terrain 20 qui sont étudiées. La bouffée de neutrons est modérée ou ralentie par les interactions de diffusion de façon que tous les neutrons prennent pratiquement une énergie correspondant à l'énergie thermique. Les neutrons thermiques ou thermalisés commencent alors à donner lieu à des interactions de capture avec les noyaux des éléments constitutifs des formations de terrain 20 et des pores contenus dans ces formations.

La capture de neutrons par des noyaux d'éléments constituant les formations de terrain 20 et leurs pores produit des rayons gamma de capture qui sont émis et atteignent les détecteurs 23 et 24. Les photomultiplicateurs des détecteurs 23 et 24 produisent une impulsion de tension pour chaque rayon gamma ainsi détecté. Ces impulsions de tension sont appliquées à la partie électronique 25, elles sont comptées dans un compteur numérique et leur nombre est transmis par télémesure vers la surface par un conducteur 16 du câble de diagraphie 13. En surface, un boîtier d'électronique de surface 17 détecte l'information transmise par télémesure à partir de la sonde 12 qui se trouve dans le sondage et il met en oeuvre la technique d'identification au sens des moindres carrés pour déterminer les paramètres  $\tau_F$ ,  $\tau_B$ , A et B relatifs aux formations de terrain 20 qui sont étudiées. Les circuits électroniques de surface appliquent alors à l'enregistreur 18 des signaux représentatifs des quantités mesurées et ces signaux sont enregistrés en fonction de la profondeur dans le sondage.

On va maintenant considérer la figure 2 qui est un schéma synoptique montrant les parties électroniques des dis-

positifs électroniques souterrain et de surface, cette représentation étant plus détaillée mais néanmoins toujours schématique. L'énergie nécessaire au fonctionnement des circuits électroniques souterrains est transmise par un conducteur du câble de diagraphie 32 et elle est appliquée à une alimentation à basse tension 31, de type classique, et à une alimentation à haute tension 34. L'alimentation à haute tension 34 peut être du type Cockcroft Walton à plusieurs étages et elle fournit approximativement 100 kV pour le fonctionnement du tube générateur de neutrons 33. Le tube générateur de neutrons 33 est du type accélérateur au deutérium-tritium. Une source d'ions 36 qui est maintenue à un potentiel voisin de la masse est utilisée pour générer des ions deutérium à partir de deutérium gazeux emplissant l'enveloppe du tube 33. Un élément chauffant de régénération 37 est imprégné de deutérium supplémentaire et il maintient un niveau de pression du deutérium gazeux à l'intérieur de l'enveloppe du tube 33 qui est suffisant pour fournir à la source d'ions 36 du deutérium gazeux, en vue de l'ionisation. Une cible 35 est imprégnée de tritium et elle est maintenue à un potentiel négatif relativement élevé de 100 kV. La source d'ions est commandée par un générateur d'impulsions de source d'ions 41. Lorsque la source d'ions reçoit une impulsion de tension relativement basse, elle provoque l'ionisation du gaz contenu dans l'enveloppe du tube 33 et accélère le gaz ionisé vers la matière de la cible 35. Lorsque les ions deutérium heurtent la matière de la cible 35 ils donnent lieu à une interaction thermonucléaire avec les ions tritium contenus dans la cible pour produire des neutrons qui sont ensuite émis dans le sondage et les formations de terrain environnantes avec, de façon générale, une symétrie sphérique par rapport au tube générateur de neutrons 33.

Un circuit de commande de régénérateur 39 reçoit des échantillons du courant de cible du générateur de neutrons, par l'intermédiaire d'un circuit d'échantillonnage 38 et il utilise ces échantillons pour effectuer une comparaison avec un signal de référence, afin de commander le cou-

rant de régénérateur et donc la pression de gaz dans l'enveloppe du tube générateur de neutrons 33. Des circuits de rythme 42 qui comprennent un oscillateur de rythme principal fonctionnant à une fréquence relativement élevée et une 5 chaîne de division appropriée, fournissent des impulsions à 1 kHz au générateur d'impulsions de source d'ions 41, et fournissent également des impulsions d'horloge à la cadence d'une seconde au circuit de commande de démarrage, 40, du générateur de neutrons. En outre, le circuit de rythme 42 10 applique des impulsions d'horloge à 2 MHz à un ensemble microprocesseur/réseau de mémorisation de données, 44, et il applique des impulsions de rythme au circuit de fond 45 et aux compteurs 52 et 53. Des signaux de rythme sont appliqués de façon similaire à une paire de circuits de commande 15 de gain 48 et 49.

L'interaction des neutrons thermalisés avec les noyaux des matières de la formation de terrain provoque l'émission de rayons gamma de capture qui sont détectés par les détecteurs 46 et 47 (correspondant aux deux détecteurs 20 espacés 23 et 24 de la figure 1). Des impulsions de tension provenant des détecteurs 46 et 47 sont respectivement appliquées aux circuits de commande de gain 48 et 49. Les circuits de commande de gain 48 et 49 ont pour fonction de maintenir les impulsions de sortie des détecteurs 46 et 47 25 à une hauteur étalonnée par rapport à une impulsion de référence d'amplitude connue. Les signaux de sortie des circuits de commande de gain correspondant aux rayons gamma détectés par les détecteurs 46 et 47 sont respectivement appliqués aux circuits discriminateurs 50 et 51. Les circuits discriminateurs 30 50 et 51 ont pour but d'éviter que des impulsions de tension de faible amplitude provenant des détecteurs entrent dans les compteurs 52 et 53. Les discriminateurs sont réglés de façon caractéristique à 0,1-0,5 MeV pour éliminer le bruit qui est généré par les tubes photomultiplicateurs 35 associés aux détecteurs 46 et 47. Les signaux de sortie des discriminateurs 50 et 51 sont appliqués à des compteurs 52 et 53 qui ont pour fonction de compter les événements individuels correspondant aux rayons gamma de capture

qui sont détectés par les détecteurs 46 et 47. Les signaux de sortie des compteurs 52 et 53 sont appliqués à l'ensemble microprocesseur/circuits de mémorisation de données, 44.

Pendant la partie de fond du cycle de détection,

- 5 le circuit de fond 45 reçoit les signaux de comptage provenant des compteurs 52 et 53. Ce circuit applique également une impulsion d'invalidation au générateur d'impulsions de source d'ions, 41, pour empêcher le fonctionnement par impulsions du générateur de neutrons pendant la partie
- 10 du cycle qui correspond au comptage du rayonnement de fond. Le circuit de correction de fond 45 applique une information de comptage de fond à l'ensemble microprocesseur/circuits de mémorisation de données, 44. L'information de fond peut être enregistrée et soumise à un calcul de moyenne sur des durées plus longues que celles correspondant aux données de capture, du fait que pour un faible niveau de seuil de discriminateur, la majeure partie du rayonnement de fond provient de l'activation du NaI par les rayons gamma, ce dernier ayant une période radioactive de 27 minutes. On
- 15 obtient ainsi de meilleures propriétés statistiques pour le signal résultant de la soustraction.

L'information de comptage numérique provenant des compteurs 52 et 53 et du circuit de correction de fond 45 est appliquée à l'ensemble microprocesseur/circuits de mémorisation de données 44. Ces circuits 44 mettent les données sous un certain format et les présentent sous forme série au circuit de télémesure 43 qui est utilisé pour transmettre par télémesure vers la surface, par le câble de diagraphie 32, l'information numérique qui provient des compteurs et du circuit de correction de fond. En surface, une unité d'interface de télémesure 54 détecte les signaux de tension de télémesure, sous forme analogique, provenant des conducteurs du câble de diagraphie 32, et elle les applique à une unité de traitement de télémesure 55 qui place sous un certain format l'information de cadence de comptage numérique représentant la cadence de comptage qui provient des compteurs 52 et 53 de l'équipement souterrain, en conformité avec les configurations de fenêtres temporelles

qui ont été envisagées précédemment. Les nombres représentatifs des cadences de comptage dans chacune des six fenêtres temporelles, ou plus, et de la cadence de comptage de fond sont ensuite appliquées à un ordinateur 56.

5 L'ordinateur 56 est programmé conformément à l'organigramme de la figure 7 de façon à interpréter l'information de cadence de comptage correspondant aux six fenêtres temporelles, ou plus, et au comptage du rayonnement de fond, de façon à exprimer le temps de décroissance des neutrons  
10 thermiques ou la durée de vie des neutrons thermiques des composantes du sondage et de la formation. Les signaux de sortie représentant les paramètres intéressants de la formation sont appliqués par l'ordinateur 56 à un enregistreur à film 57 et à un enregistreur à bande magnétique 58, pour  
15 effectuer un enregistrement en fonction de la profondeur dans le sondage. L'ordinateur de surface 56 est programmé conformément à l'organigramme représenté sur la figure 7 de façon à extraire les composantes du temps de décroissance des neutrons thermiques  $\tau_F$  et  $\tau_B$  qui sont respectivement relatives à la formation de terrain et au sondage,  
20 et à déterminer les intersections B et A de la figure 3 qui représentent les cadences de comptage à la fin de la bouffée de neutrons qui résultent respectivement des composantes de la formation et du sondage de la population de  
25 neutrons thermiques. Pour accomplir ceci, on utilise une technique d'identification itérative au sens des moindres carrés qui est représentée sur la figure 7.

L'information d'entrée qui est introduite dans le programme représenté sur la figure 7 comprend l'information  
30 de cadence de comptage  $C_i$ , avec  $i = 1$  à 6 provenant de chacune des six fenêtres temporelles, et un comptage de fond qui est désigné par BKG sur la figure 7. Dans une première case de commande 61, les cadences de comptage provenant de chacune des fenêtres temporelles sont corrigées pour tenir  
35 compte du temps mort dans les détecteurs, en employant une formule qui est portée dans la case 61. En outre, les comptages de fond sont corrigés pour tenir compte de ce temps mort. L'information de cadence de comptage corrigée et l'in-

formation de fond corrigée sont transmises à une case de commande de programme 62 dans laquelle la cadence de comptage de fond est normalisée pour tenir compte des durées différentes des fenêtres temporelles 1-6. L'information de 5 comptage de fond est convertie en une cadence de comptage de fond et soustraite de l'information de cadence de comptage dans chaque fenêtre temporelle.

Les cadences de comptage corrigées pour tenir compte du rayonnement de fond,  $C_i$ , sont ensuite appliquées 10 à une case de commande de programme 63, en supposant que  $t_i$  corresponde au point milieu de chaque fenêtre temporelle. Les données de cadence de comptage  $C_i$ , pour  $i = 3$  à 6, font ensuite l'objet d'une identification au sens des moindres carrés avec l'expression portée dans la case 63, ce qui 15 donne des valeurs préliminaires de  $B$  et de  $\tau_F$ , ainsi que la valeur efficace de l'écart entre la valeur obtenue par identification au sens des moindres carrés et les cadences de comptage, pour chaque valeur de la cadence de comptage.

Les estimations de  $t_i$  sont ensuite transmises à 20 une case de commande de programme 64 dans laquelle le  $t_i$  correspondant au centre de la fenêtre temporelle est corrigé pour tenir compte de la pente du temps de décroissance des neutrons thermiques de la formation,  $\tau_F$ , au moyen d'une expression qui est portée dans la case 64. De façon 25 similaire, l'information de cadence de comptage  $C_i$  pour les deux premières fenêtres temporelles,  $i = 1, 2$ , qui est davantage affectée par la composante du sondage, est corrigée pour tenir compte de l'effet qui est dû à la composante de la formation  $\tau_F$ , dans une case de commande de programme 30 65.

Les cadences de comptage corrigées  $C'_i$ , avec  $i = 1$  à 6, sont ensuite transmises à une case de commande de programme 66 qui calcule une composante du temps de décroissance des neutrons thermiques relative au sondage,  $\tau_B$ , et 35 une composante d'amplitude de cadence de comptage de la composante du sondage,  $A$ , conformément aux expressions portées dans la case de commande de programme 66.

La coordonnée de temps centrale pour les fenêtres

1 et 2 est ensuite corrigée pour tenir compte de la pente de la composante du sondage  $\tau_B$ , conformément à l'expression qui est portée dans la case 67.

La commande est ensuite transférée à une case de commande de programme 68 dans laquelle l'expression relative à la cadence de comptage  $C_i$ , avec  $i = 3$  à 6, dans les fenêtres temporelles 3 à 6 est corrigée pour tenir compte de la composante du sondage, conformément à l'expression qui est portée dans la case 68.

10 La commande est ensuite transférée à la case de commande de programme 69 où un test est effectué pour déterminer si le processus itératif a convergé. Si le test effectué à la case 69 détermine que la convergence n'a pas été obtenue, un compteur d'itération est incrémenté à 15 la case 71 et les données de cadence de comptage corrigées  $C'_i$ , avec  $i = 1$  à 6, qui sont déterminées aux cases de commande de programme 68 et 65, remplacent les données de cadence de comptage précédentes provenant de la dernière itération, puis le programme retourne à la case de commande de programme 63 pour l'itération suivante de l'identification au sens des moindres carrés. Lorsque le test de la case 69 indique que la convergence a été obtenue, le programme passe à la case de sortie 70 et l'ordinateur de commande 56 de la figure 2 transmet les résultats aux enregistreurs représentés sur la figure 2.

De cette manière, le dispositif de l'invention mesure simultanément le temps de décroissance des neutrons thermiques de la composante relative à la formation de terrain  $\tau_F$ , et de la composante relative au sondage,  $\tau_B$ , et 30 les valeurs des cadences de comptage initiales B et A correspondant aux composantes de la cadence de comptage dues à la formation et au sondage. L'invention évite ainsi toutes les limitations de l'art antérieur mentionnées précédemment qui sont dues à l'hypothèse selon laquelle la composante du 35 sondage du temps de décroissance des neutrons thermiques est très inférieure à la composante de la formation de terrain.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au dispositif et au procédé décrits et représentés, sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure simultanée du temps de décroissance des neutrons thermiques dans des matières situées dans un sondage et autour de celui-ci, caractérisé  
5 en ce que : on génère, dans un sondage (10) une bouffée discrète, de durée relativement courte, de neutrons rapides qui sont rapidement modérés par interaction avec les noyaux de matières situées dans le sondage et dans des formations de terrain environnantes (20) et sont ralentis  
10 jusqu'au niveau d'énergie thermique, ce qui crée une population de neutrons thermiques dans le sondage et les formations de terrain environnantes; on détecte, dans le sondage, des rayonnements représentatifs de la population de neutrons thermiques dans le sondage et dans les formations  
15 de terrain environnantes, dans au moins quatre intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas, après la bouffée de neutrons rapides, et on génère au moins quatre signaux de cadence de comptage représentatifs de la population de neutrons thermiques pendant les quatre, au moins,  
20 intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas; et on combine les quatre, au moins, signaux de cadence de comptage conformément à une relation prédéterminée, pour obtenir simultanément au moins deux signaux de mesure représentatifs du temps de décroissance de la population de  
25 neutrons thermiques dans le milieu constituant le sondage et dans le milieu constituant les formations de terrain à proximité du sondage.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'opération consistant à combiner les quatre, au  
30 moins, signaux de cadence de comptage conformément à une relation prédéterminée comprend en outre l'opération qui consiste à produire simultanément au moins deux signaux de mesure supplémentaires représentatifs de la population de neutrons thermiques initiale dans le sondage et dans les  
35 milieux entourant le sondage.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on accomplit l'opération de détection en détectant les rayonnements gamma qui résultent de la capture de neutrons

thermiques par des noyaux de matières situées dans le sondage et autour de celui-ci.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'opération de détection comprend l'opération 5 qui consiste à détecter les rayonnements gamma dans au moins six intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas, à la suite de la bouffée de neutrons rapides.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'opération de détection est déclenchée environ 10 20 à 30  $\mu$ s après la bouffée de neutrons et les quatre, au moins, intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas s'étendent pratiquement sur une durée totale d'environ 1 ms, à la suite de la bouffée de neutrons.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé 15 en ce que les quatre, au moins, intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas ont des durées approximativement égales.

7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les quatre, au moins, intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas ont des durées respectives 20 qui croissent successivement, afin d'optimiser le comptage total dans chacun de ces intervalles de temps.

8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on accomplit l'opération de génération en utilisant une source (33) de neutrons d'environ 14 MeV générés 25 par un tube accélérateur du type deutérium-tritium.

9. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre l'opération, accomplie après les quatre, au moins, intervalles de temps contigus et ne 30 se chevauchant pas qui suivent la bouffée de neutrons rapides, qui consiste à détecter des rayonnements de fond dans le sondage (10) et à corriger les quatre, au moins, signaux de cadence de comptage pour tenir compte des rayonnements de fond, avant l'opération de combinaison.

35 10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on accomplit l'opération de correction pour tenir compte des rayonnements de fond en soustrayant de chacun des quatre, au moins, signaux de cadence de comptage une fonc-

tion pondérée des rayonnements de fond détectés.

11. Procédé de détermination simultanée de la composante relative au sondage et de la composante relative aux formations de terrain du temps de décroissance
- 5 de neutrons thermiques d'un sondage et de formations de terrain situées à proximité du sondage, caractérisé en ce que: on émet de façon répétitive, dans un sondage (10), des impulsions de durée relativement courte de neutrons rapides qui sont rapidement modérés par interaction avec
- 10 les noyaux de matières contenues dans le sondage et dans les formations de terrain environnantes et qui sont ralentis jusqu'au niveau d'énergie thermique, ce qui crée des bouffées répétitives de populations de neutrons thermiques dans le sondage et dans les formations de terrain
- 15 environnantes; on détecte dans le sondage, pendant un intervalle de temps compris entre les impulsions répétitives de neutrons rapides, des rayonnements représentatifs de la population de neutrons thermiques dans le sondage et les formations de terrain environnantes, dans au moins
- 20 quatre intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas, à la suite d'une impulsion de neutrons rapides, et on génère au moins quatre signaux de cadence de comptage représentatifs de la population de neutrons thermiques pendant les quatre, au moins, intervalles de temps conti-
- 25 gus et ne se chevauchant pas; on détecte pendant un intervalle de temps séparé, compris entre les bouffées répétitives de neutrons rapides, des rayonnements attribuables à une composante de rayonnement de fond présente dans le sondage et on génère un signal de comptage de fond repré-
- 30 sentatif de cette composante; on combine les quatre, au moins, signaux de cadence de comptage et une fonction du signal de comptage de fond, selon une relation pré-déterminée, afin de produire simultanément au moins deux signaux de mesure représentatifs des temps de décroissance des neu-
- 35 trons thermiques de la composante du sondage et de la composante des formations de terrain; et on enregistre les deux, au moins, signaux de mesure en fonction de la profondeur dans le sondage.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'on accomplit chacune des opérations à plusieurs profondeurs différentes dans un sondage et on enregistre les deux, au moins, signaux de mesure pour chaque 5 des différentes profondeurs dans le sondage.

13. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'on répète environ 1000 fois par seconde les opérations d'émission et de détection.

14. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'opération consistant à combiner les quatre, 10 au moins, signaux de cadence de comptage conformément à une relation prédéterminée, comprend en outre l'opération consistant à produire simultanément au moins deux signaux de mesure supplémentaires représentatifs de la population 15 de neutrons thermiques initiale, à la suite d'une impulsion de neutrons répétitive dans le sondage et dans les milieux qui entourent le sondage.

15. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'on effectue des opérations de détection en 20 détectant les rayonnements gamma qui résultent de la capture de neutrons thermiques par les noyaux de matières situées à l'intérieur et à l'extérieur du sondage.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que les opérations de détection comprennent la 25 détection des rayonnements gamma dans au moins six intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas, à la suite de chaque bouffée de neutrons rapides, et la génération d'au moins six signaux de cadence de comptage représentatifs de ces rayonnements.

30 17. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que les opérations de détection sont déclenchées environ 20 à 30  $\mu$ s après chaque bouffée de neutrons et les quatre, au moins, intervalles de temps contigus et ne se chevauchant pas s'étendent pratiquement sur la totalité de 35 l'intervalle de temps allant jusqu'à l'impulsion suivante parmi les impulsions de neutrons répétitives.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que les quatre, au moins, intervalles de temps conti-

gus et ne se chevauchant pas ont des durées approximativement égales.

19. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que les quatre, au moins, intervalles de temps 5 contigus et ne se chevauchant pas ont des durées respectives qui croissent successivement, afin d'optimiser le comptage total dans chacun de ces intervalles de temps.

20. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'on accomplit l'opération de génération, en 10 utilisant une source (33) de neutrons d'environ 14 MeV générés par un tube accélérateur du type deutérium-tritium.

21. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'opération de combinaison comprend l'opération qui consiste à soustraire de chacun des quatre, au 15 moins, signaux de cadence de comptage une fonction pondérée du rayonnement de fond détecté.

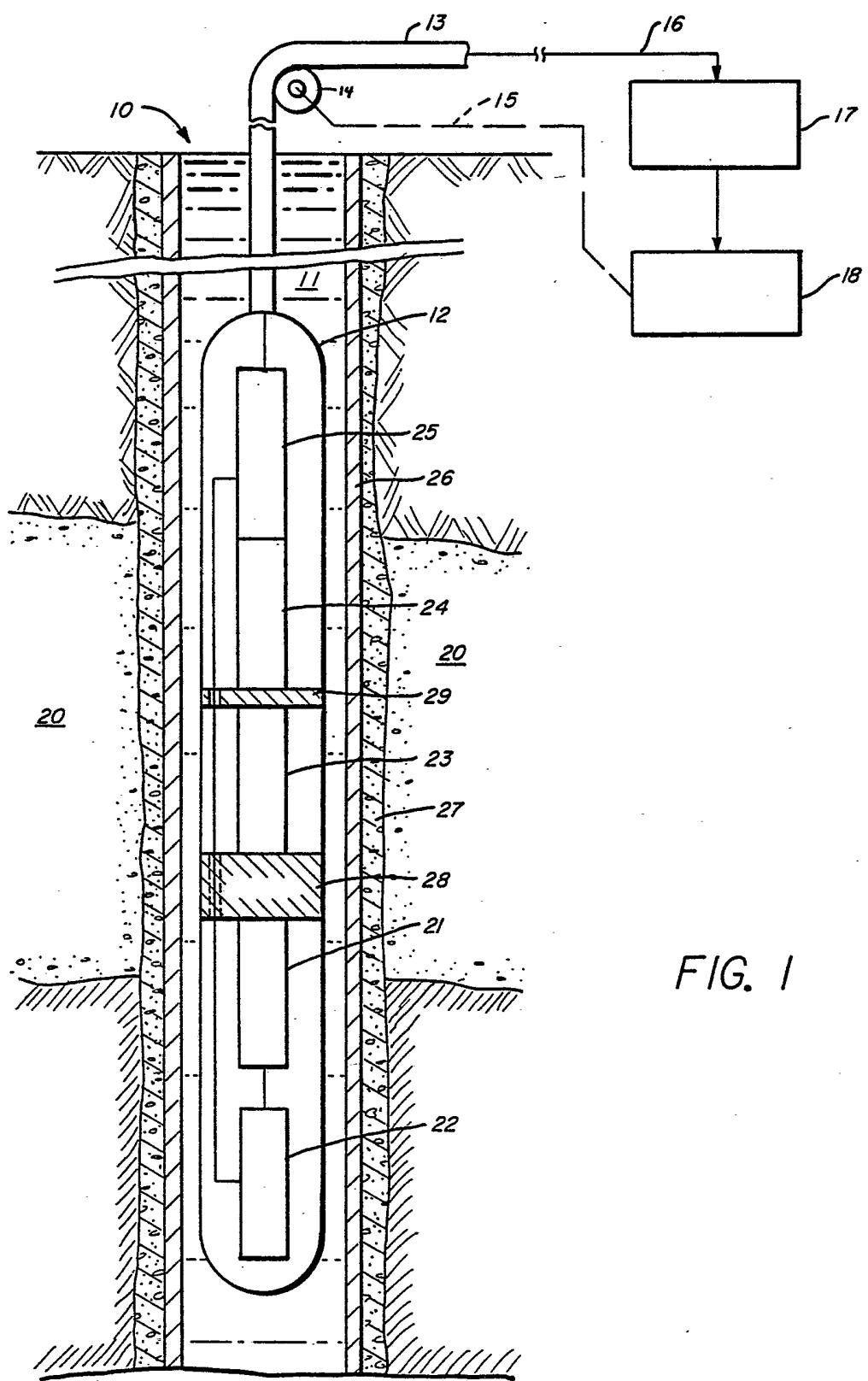
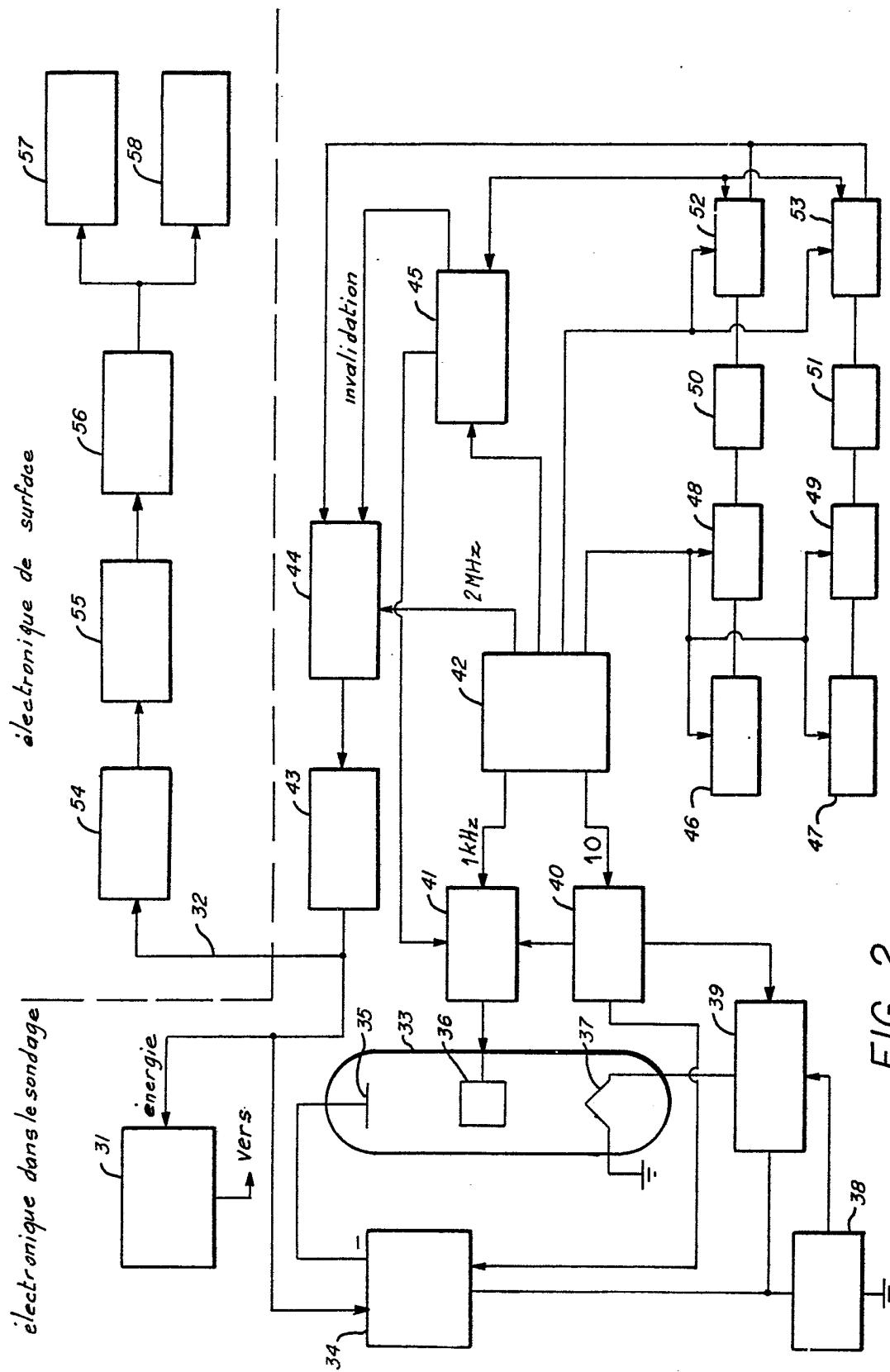


FIG. 1



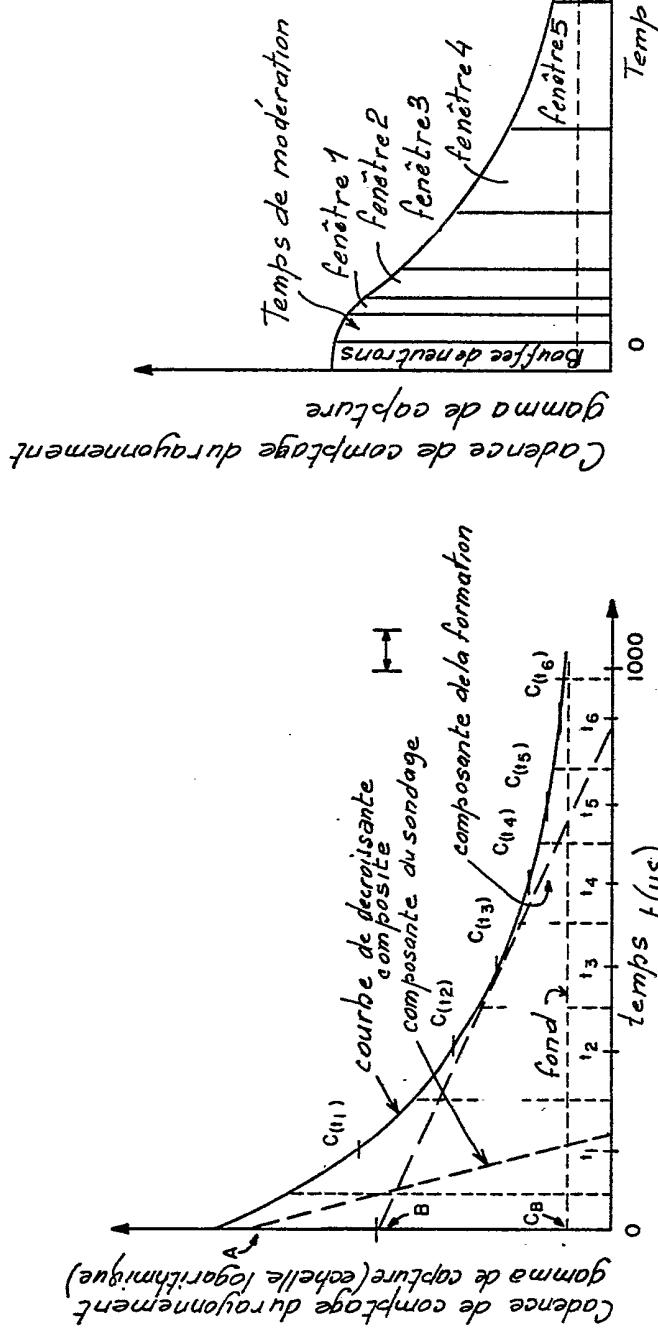


FIG. 3

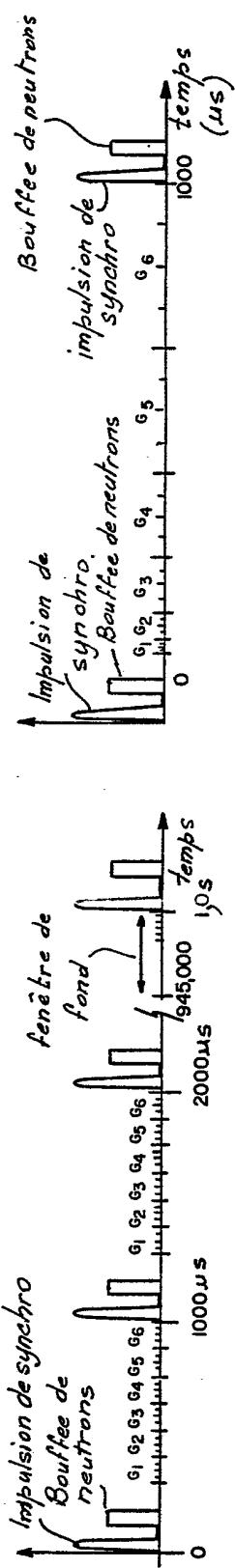


FIG. 4

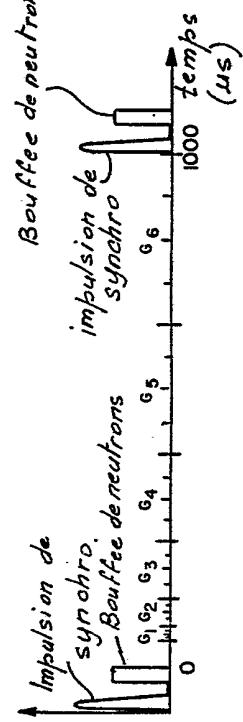
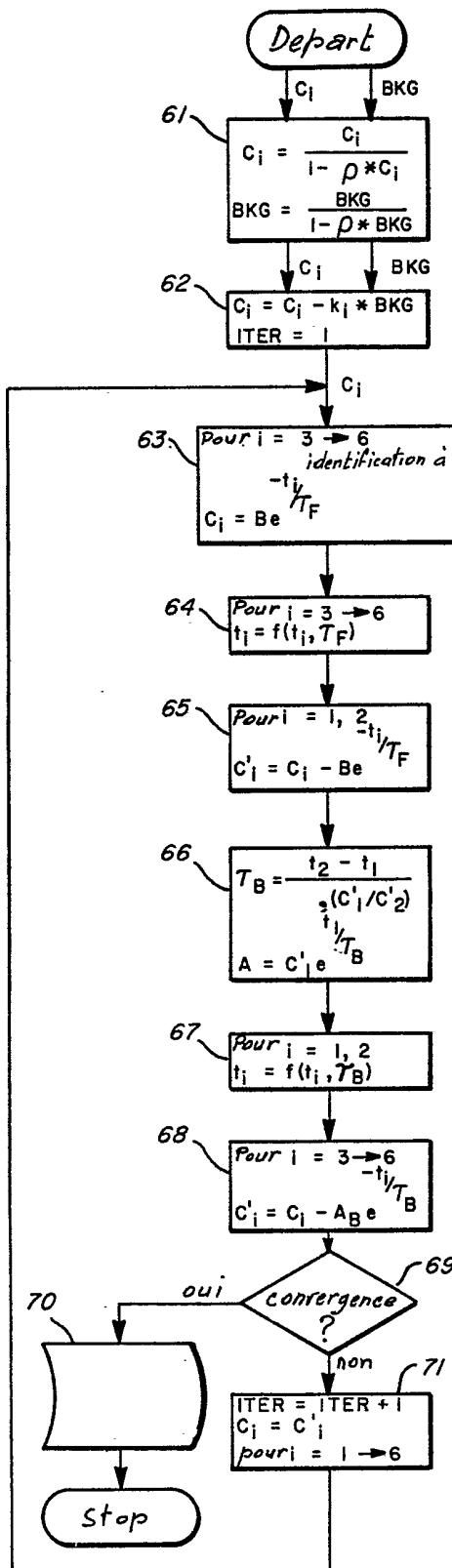


FIG. 5



$i = 1 \rightarrow 6 ; 60 \rightarrow 998 \mu s$  après l'impulsion de synchro  
( $\rho = 3 \mu s$ )

$k_i$  = normalisation des largeurs de fenêtre

$$t_i = GB_i + T_F \cdot e^{\left\{ \frac{-W_i}{T_F} \right\}}$$

avec  $GB_i$  : instant initial de la fenêtre de rang  $i$   
et  $W_i = GB_{i+1} - GB_i$  = largeur de la fenêtre  $i$

$$t_i = GB_i + T_B \cdot e^{\left\{ \frac{-W_i}{T_B} \right\}}$$

FIG. 7