

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 10156**

---

(54) Détermination de la lithologie à partir des raies d'activation du calcium et du magnésium.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 N 23/222, 33/24; G 01 V 5/10.

(22) Date de dépôt..... 7 mai 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 46 du 13-11-1981.

---

(71) Déposant : SOCIETE DE PROSPECTION ELECTRIQUE SCHLUMBERGER, société anonyme,  
résidant en France.

(72) Invention de : Jeffrey S. Schweitzer et Ralph M. Tapphorn.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Lucien Chareyron, service brevets Schlumberger,  
42, rue Saint-Dominique, 75340 Paris Cedex 07.

La présente invention concerne les diagraphies par spectroscopie de rayons gamma, et plus particulièrement un procédé et un dispositif pour étudier la lithologie des formations terrestres par spectroscopie de rayons gamma provoqués par un bombardement de neutrons.

- 5 On connaît actuellement différentes procédures pour étudier la composition minérale, ou lithologie, des formations terrestres. Le brevet américain No. 3 566 117 (Tixier) décrit une technique dans laquelle on obtient une indication de lithologie en combinant des signaux de porosité, provenant d'un appareil de diagraphie "neutron" à deux
- 10 détecteurs, et des signaux de la densité provenant d'un appareil de diagraphie gamma-gamma à deux détecteurs. Un autre procédé, décrit dans le brevet américain No. 3 590 228, consiste à combiner des mesures de temps de transit acoustique, de densité apparente et de porosité "neutron" pour obtenir deux indices de lithologie, appelés M et N, qui sont
- 15 ensuite comparés pour identifier les principaux constituants lithologiques de la formation. On connaît plusieurs autres méthodes pour obtenir des informations de lithologie à partir de combinaisons de mesures acoustiques, de densité et de neutrons. Une de ces méthodes, connue sous le nom de méthode à deux minéraux, utilise une comparaison des
- 20 données de neutrons et de densité pour obtenir des valeurs de porosité et de densité apparente de matrice de la formation. La mesure acoustique est alors utilisée pour indiquer des zones de porosité secondaire et pour aider à définir la lithologie. Un procédé plus général, basé sur la méthode à deux minéraux, a été mis au point pour interpréter la
- 25 lithologie de formations comportant des mélanges de silice, calcaire, dolomite, anhydrite et argile ou qui sont constituées par des mélanges d'argile et de deux quelconques des minéraux indiqués. Ce procédé tient compte à la fois de la teneur en argile des formations et de l'influence des hydrocarbures. Les techniques mentionnées ci-dessus sont décrites
- 30 en détail dans l'article de Poupon et al, intitulé "Log analysis in formations with complex lithologies", Journal of Petroleum Technology, août 1971, pages 995-1005. Ces techniques qui fournissent en général une indication précise de la lithologie nécessitent l'utilisation de données provenant d'au moins deux appareils différents de diagraphie.
- 35 On connaît cependant des méthodes qui ne nécessitent pas de telles acquisitions de données à partir d'appareils différents. Le brevet américain No. 4 055 763 (Antkiw) par exemple décrit un procédé qui au moyen d'un appareil de spectroscopie de rayons gamma identifie

la lithologie de formations grâce à la mesure de teneurs relatives d'éléments sélectionnés dans la formation. Par exemple, en déterminant les contributions relatives du silicium, du calcium et du fer au spectre de rayons gamma de capture de la formation, puis en formant différents rapports entre ces contributions élémentaires mesurées, on peut détecter la présence d'argile ou déterminer si la formation est constituée par du calcaire ou du grès. Le brevet américain No. 3 930 154 (Scott) décrit un procédé similaire dans lequel on analyse les éléments constitutifs du spectre énergétique des rayons gamma de capture pour obtenir les proportions relatives des constituants de la formation, on détermine les proportions en volume des différents constituants et l'on calcule des rapports entre certaines de ces proportions pour fournir des indications sur la lithologie, comme par exemple un indicateur du rapport dolomite/calcaire. Bien que ces techniques de spectroscopie permettent d'obtenir des indicateurs de lithologie utiles, il est souhaitable d'obtenir encore d'autres informations lithologiques et, notamment, de disposer d'une technique de spectroscopie directe permettant de faire la différence entre des formations dolomitiques et calcaires et pour séparer de telles formations d'autres lithologies. Il est également souhaitable d'obtenir un indicateur dolomite/calcaire qui n'est pas affecté par la présence de grès.

Selon l'invention, un procédé et un dispositif d'étude de lithologie consiste à irradier une formation par des neutrons possédant une énergie suffisante pour provoquer les réactions d'activation  $^{26}\text{Mg} (n, \gamma) ^{27}\text{Mg}$  et  $^{48}\text{Ca} (n, \gamma) ^{49}\text{Ca}$ , à mesurer séparément les intensités des rayons gamma résultant de la décroissance des isotopes instables  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$ , et à combiner les mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$  pour fournir une indication sur la lithologie de la formation. Les mesures de magnésium-27 et de calcium-49 peuvent être combinées de plusieurs façons pour donner l'indicateur de lithologie formé par exemple par les rapports  $\text{Ca}/\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg})$  et  $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{X})$ , X pouvant être une constante, une quantité liée à l'intensité des rayons gamma d'un autre constituant émetteur, par exemple Al, normalement présent dans les formations, ou toute autre valeur. Des expériences réalisées dans des formations connues ont montré que des rapports  $\text{Ca}/\text{Mg}$  tels que ceux mentionnés ci-dessus permettent de séparer les dolomites et les calcaires entre eux et par rapport à d'autres lithologies. Dans les

cas où le rapport seul ne suffit pas, on peut généralement obtenir une indication de lithologie en tenant compte en outre des taux de comptage absolus des rayons gamma pour  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$ . Si on le désire, on peut également mesurer la décroissance du  $^{28}\text{Al}$  activé résultant de la réaction  $^{27}\text{Al} (n, \gamma) ^{28}\text{Al}$ , et l'utiliser pour obtenir un autre indi-  
5 cateur de lithologie, notamment pour l'argile. La mesure de  $^{28}\text{Al}$ , ou une grandeur fonction de cette mesure, peut également être utilisée pour former le calcium-magnesium mentionné ci-dessus.

La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la  
10 description suivante de plusieurs modes de réalisation donnés à titre d'exemple en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'un mode de réalisation d'un dispositif de diagraphie suivant l'invention;

- la figure 2 est un graphique représentant un spectre  
15 énergétique de rayons gamma d'activation  $\text{Ge}(\text{Li})$  provenant d'une formation irradiée par des neutrons émis par une source au californium-252;

- la figure 3 est un diagramme comparatif des activités des rayons gamma d'activation du calcium-49 en fonction du magnésium-27, pour indiquer la lithologie de la formation; et

20 - la figure 4 est un organigramme pour l'analyse d'un spectre de rayons gamma d'activation pour identifier les contributions du calcium-49 et du magnésium-27 et en déduire un indicateur de lithologie.

En se référant maintenant aux figures et notamment à la figure 1, un appareil de fond 10, résistant à la pression et à la  
25 température et étanche aux fluides, est suspendu dans un sondage 12 au moyen d'un câble armé 14, pour étudier les formations souterraines 16. Le sondage 12 peut être tubé, avec une couche annulaire 18 en ciment et un tubage en acier 20 contenant un fluide 22. L'appareil peut avoir des dimensions lui permettant de traverser une colonne de produc-  
30 tion (non représentée). L'invention s'applique également à des diagraphies dans des sondages non tubés.

L'appareil 10 comprend une source de neutrons 24 et un détec-  
26 teur 26 de rayons gamma. La source de neutrons 24 peut être constituée par une source chimique, telle que représentée, par exemple au californium-252, au plutonium-béryllium ou à l'américium-béryllium, auquel  
35 cas elle est enfermée de façon appropriée dans une enveloppe-écran 25. La source peut aussi être formée par un générateur de rafales de neutrons,

tel que celui décrit dans le brevet américain No. 2 991 364. De préférence on utilise une source au californium-252 dont les neutrons émis ont pour la plupart des énergies inférieures au niveau de seuil d'activation du silicium-28, ce qui évite la contamination éventuelle de l'activité  $^{27}\text{Al}$  (n,  $\gamma$ )  $^{28}\text{Al}$  par l'activité  $^{28}\text{Si}$  (n, p)  $^{28}\text{Al}$ . Naturellement, on peut utiliser des sources plus énergétiques si une telle contamination n'est pas un problème ou si l'on souhaite des rendements en neutrons plus importants.

Lorsqu'on utilise une source de neutrons continue, cette dernière est de préférence suffisamment éloignée du détecteur 26 pour que l'activité initiale des rayons gamma résultant de la diffusion inélastique et de la capture de neutrons thermiques se soit largement dissipée au moment où le détecteur arrive au niveau de l'endroit irradié. L'espacement entre la source et le détecteur devra également être suffisamment important pour éviter la détérioration du détecteur par irradiation directe de neutrons et pour minimiser l'activation du détecteur et des composants voisins de l'appareil. Un espacement approprié pour une source chimique et un spectromètre au germanium est de l'ordre de 6 m. Une source pulsée 24 peut être plus rapprochée du détecteur 26. Dans ce cas, l'activité résultant de la diffusion inélastique et de la capture de neutrons thermiques peut être éliminée par des circuits de blocage appropriés. On peut prévoir une protection pour minimiser la détérioration et l'activation du détecteur.

Le détecteur 26 de rayons gamma possède une résolution suffisante pour identifier les pics d'énergie souhaités (meilleure que 10 KeV, et de préférence égale à 3 KeV ou plus pour  $E_\gamma \leq 1 \text{ MeV}$ ). C'est de préférence un détecteur à semi-conducteur présentant une résolution importante, comme par exemple un détecteur au germanium de grande pureté ou un détecteur au germanium et lithium diffusé. Comme de tels détecteurs ne fonctionnent de façon fiable qu'à des températures cryogéniques, le détecteur 26 est enfermé dans un cryostat 30. De préférence on utilise le cryostat décrit dans le brevet français No. 2 404 863 (inventeur Tapphorn). Ce cryostat permet de maintenir le détecteur à une température d'environ - 180°C pendant 24 heures.

L'énergie électrique de l'appareil 10 est fournie par l'intermédiaire du câble 14 par une alimentation (non représentée) située en surface. D'autres alimentations appropriées (non représentées) sont également prévues dans l'appareil 10 pour commander le détecteur 26 et les circuits électroniques de fond, y compris la source de neutrons 24 lorsqu'il s'agit d'une source pulsée.

La formation est irradiée par la source de neutrons 24 pendant une période de temps prédéterminée et l'appareil 10 est déplacé vers le haut jusqu'à ce que le détecteur arrive au voisinage de la formation irradiée et détecte les émissions de rayons gamma résultant de l'irradiation. Les mesures peuvent se faire de façon continue ou point par point. Le temps nécessaire pour amener le détecteur en face de l'endroit irradié (approximativement 30 s pour un espacement de 6 m entre la source et le détecteur) constitue un délai suffisant pour que les rayons gamma de diffusion inélastique et de capture des neutrons thermiques se dissipent avant le début de la période de mesure. On obtient aussi des informations de temps, entre la fin de la période d'irradiation et le début de la mesure, qui sont utiles pour identifier les éléments émetteurs et pour séparer les raies d'activité qui interfèrent par analyse de la période radioactive. On peut commander la durée de ce délai dans une certaine mesure en faisant varier l'espacement entre la source et le détecteur et/ou la vitesse de déplacement de l'appareil 10. Un autre avantage de cette technique dans laquelle on relève les spectres en irradiant la formation en un point espacé du détecteur et en amenant ensuite celui-ci en face du point d'irradiation, réside dans le fait que le mouvement de l'appareil a tendance à déplacer le fluide activé le long du sondage, ce qui réduit le niveau de détection des rayons gamma non souhaités.

Après amplification dans l'amplificateur 32, les impulsions de sortie du détecteur 26 sont appliquées à un analyseur de hauteur d'impulsions, de type classique, par exemple du type à rampe unique (rampe descendante de Wilkinson). Cet analyseur peut être à plusieurs voies pour fournir un spectre énergétique tel que celui représenté sur la figure 2, ou il peut être constitué par plusieurs analyseurs à voie unique réglés pour ne détecter que les gammes énergétiques intéressantes. Naturellement, l'analyseur 34 comporte les discriminateurs de hauteur

d'impulsions classiques pour choisir la gamme énergétique de rayons gamma à analyser et, lorsqu'on utilise une source de neutrons pulsée, des portes qui commandent l'intervalle de temps pendant lequel les signaux du détecteur doivent être analysés.

5 L'analyseur 34 trie les impulsions du détecteur sur des voies déterminées en fonction de leur amplitude et délivre des signaux numériques qui représentent l'amplitude de chaque impulsion. La largeur de la voie qui ne doit pas être supérieure à la résolution du détecteur, est de préférence de l'ordre de 1 KeV pour un spectre de rayon gamma  
10 d'activation (Ge(Li)). Par conséquent, pour un spectre classique couvrant 4,0 MeV, il est préférable d'utiliser un analyseur à 4 000 voies.

Les signaux de sortie numériques de l'analyseur 34 sont appliqués aux circuits de transmission 36 dans lesquels les données sont mémorisées temporairement puis transmises à des circuits de réception  
15 38 situés en surface. Les circuits de transmission et de réception 36 et 38 peuvent présenter n'importe quelle constitution connue permettant le codage et le décodage, le multiplexage et le démultiplexage, l'amplification et tout autre traitement approprié. On peut utiliser notamment le système de télémessure décrit dans le brevet français No. 2 379 694  
20 (inventeur A. Belaigues et autres). On peut aussi utiliser les circuits décrits dans le brevet américain No. 4 012 712 (W.B. Nelligan).

En surface, les spectres de rayons gamma d'activation sont reçus par une mémoire tampon 40 d'acquisition de données qui accumule les signaux de comptages par voie pendant une période suffisamment  
25 longue pour fournir un spectre satisfaisant du point de vue statistique. Toutefois, les intervalles de temps d'acquisition sont suffisamment courts pour permettre une analyse de période permettant de différencier les raies qui interfèrent ou d'identifier par une autre manière des éléments émetteurs. Par exemple, les spectres peuvent être acquis dans  
30 des intervalles d'1 minute, 5 minutes, etc, et être ensuite ajoutés pour obtenir les pics intéressants sur toute la période de comptage si une meilleure précision statistique est exigée. Naturellement, lors de la sommation des spectres on doit tenir compte de la décroissance des pics pendant la période de comptage.

Une fois accumulé dans la mémoire d'acquisition 40, le spectre d'activation est transféré dans des mémoires de stockage (non représentées) faisant partie d'un calculateur de lithologie 42, et la mémoire d'acquisition 40 est remise à zéro. Les mémoires d'acquisition et de stockage sont classiques et ne seront pas décrites ici. Le calculateur peut être constitué par un calculateur numérique universel ou par un calculateur analogique. Dans l'un ou l'autre cas, le calculateur 42 est programmé ou conçu de façon appropriée, comme représenté sur la figure 4, pour identifier les pics énergétiques intéressants, déterminer le taux de comptage correspondant à ces pics puis normaliser et corriger le taux de comptage brut pour obtenir des informations sur la lithologie.

La figure 2 représente un spectre d'activation classique obtenu au moyen d'une source au californium-252 et d'un détecteur au Ge(Li) de résolution élevée. La formation irradiée présentait une composition dolomitique, et après une irradiation de 30 minutes, on a accumulé des données pendant des périodes de temps contigues d'une durée totale d'une heure. Ces données ont été ensuite ajoutées pour obtenir le spectre de la figure 2. Suivant l'invention, on doit mesurer les activités des rayons gamma résultant de la réaction d'activation du magnésium  $^{26}\text{Mg} (n, \gamma) ^{27}\text{Mg}$  et de la réaction d'activation du calcium  $^{48}\text{Ca} (n, \gamma) ^{49}\text{Ca}$ , puis les combiner pour obtenir une indication sur la lithologie de la formation. Pour aider à former cet indicateur de lithologie, et/ou pour obtenir d'autres informations lithologiques, on mesure également de préférence l'activité des rayons gamma due à la réaction d'activation de l'aluminium  $^{27}\text{Al} (n, \gamma) ^{28}\text{Al}$ .

Comme les énergies du  $^{27}\text{Mg}$  et du  $^{56}\text{Mn}$  sont très proches (respectivement 843,8 KeV et 846,6 KeV), ces pics sont confondus en 44 sur la figure 2, même avec un détecteur au Ge (Li) de résolution élevée. L'activité attribuable à chaque élément peut être déterminée soit par comparaison avec une mesure ultérieure pour analyser la période radioactive, soit en utilisant le pic d'activité 46 du  $^{27}\text{Mg}$  pur à 1,014 MeV. On voit nettement la raie non contaminée 48 du  $^{49}\text{Ca}$  (3,084 MeV).



Pour déterminer l'activité correspondant à chaque pic, le calculateur 42 reçoit des instructions 50 (voir figure 4), pour localiser les pics 44 et 48 correspondant à  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$ , et, si on le désire, le pic de  $^{28}\text{Al}$ , puis des instructions 52 pour déterminer la surface du pic (ou le nombre de coups) au-dessus du rayonnement de fond. Ceci peut se faire de plusieurs manières connues, proposées par les fournisseurs de logiciel et/ou de matériel. Les données brutes d'intensité sont alors normalisées et corrigées pour refléter de façon plus précise les concentrations des éléments dans la formation. Comme indiqué par le bloc 54 sur la figure 4, ceci peut se faire en extrapolant toute l'activité jusqu'à l'instant  $T_0$  où l'irradiation de la formation a cessé, pour déterminer l'activité initiale de chaque élément. On peut aussi utiliser comme base de normalisation l'activité totale de l'instant zéro à l'infini. On tient alors compte des périodes différentes des éléments et des retards lors des relevés des mesures. En plus de cette normalisation due à l'intervalle de temps séparant l'irradiation et la mesure, il faut également tenir compte des changements éventuels dans la durée d'irradiation. Après avoir déterminé les taux de comptage instantanés à l'instant  $T_0$  pour les éléments, le calculateur 42 reçoit des instructions 56, pour combiner les taux de comptage afin d'obtenir une indication de lithologie. La nature de cette combinaison et l'importance des informations lithologiques obtenues apparaissent en référence à la figure 3.

La figure 3 représente un diagramme comparatif des taux de comptage instantanés  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$ , mesurés à différentes profondeurs dans le sondage. Certains points comme la dolomite à la profondeur 2532 ou le calcaire à la profondeur 3070 correspondent à des lithologies relativement pures, tandis que d'autres, comme le calcaire argileux à la profondeur 2580 correspondent à des lithologies mélangées. La profondeur de chaque mesure est indiquée par un nombre et la lithologie est indiquée par une ou plusieurs lettres (D, L, S, etc). Les segments (|—|) indiquent l'incertitude statistique des mesures. On voit que presque tous les points dolomitiques (D) se trouvent dans une région délimitée par les droites A et B (concentrations approximativement égales de calcium et de magnésium). Les droites correspondant à des rapports constants conviennent mieux qu'une région particulière car

une imprécision sur la position de l'appareil affecte le taux de comptage absolu mais non le rapport Ca/Mg. De même, pour les calcaires (L) la contribution relative de Ca est plus importante que celle de Mg et ils sont groupés en haut à gauche du diagramme. Les formations argileuses (S) se trouvent au-dessous des droites A et B, ce qui reflète un rapport Mg/Ca plus important que pour les dolomites. Les silts (St), bien que présentant pour Ca et Mg des valeurs plus faibles que les calcaires et les dolomites, ont un rapport Ca/Mg compris entre les deux. De même, les quartz (Qz) ont des intensités Ca et Mg qui tendent vers des valeurs absolues encore plus faibles que les silts.

Comme les séparations entre valeurs moyennes Ca/Mg pour les différentes lithologies sont assez importantes et que la dispersion des points autour de ces valeurs moyennes est peu élevée, la probabilité d'une confusion est faible même lorsque l'interprétation de la lithologie est basée seulement sur le rapport Ca/Mg. Par conséquent, non seulement le rapport Ca/Mg indique la proportion de dolomite dans une formation (Ca/Mg  $\rightarrow$  1 lorsque la proportion de dolomite augmente), mais il permet aussi de séparer les dolomites et les calcaires d'autres lithologies. Si le rapport Ca/Mg ne suffit pas pour déterminer la lithologie, on peut lever le doute en incluant les intensités correspondant à Mg et à Ca ou leur somme. Ainsi, par exemple, si le point de silt à la profondeur 2895 peut être interprété comme une dolomite d'après le rapport Ca/Mg seul, les taux de comptage absolus pour Ca et Mg montrent par leurs faibles valeurs que cette zone correspond à du silt.

On peut aussi utiliser des fonctions autres que Ca/Mg, comme par exemple le rapport  $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Ca})$ . On évite ainsi le doute qui apparaît avec le rapport Ca/Mg lorsque la quantité de magnésium est très faible. D'autre part, ce rapport  $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg})$  est normalisé entre 0, indiquant de l'argile, et 1, indiquant du calcaire, une valeur d'approximativement 0,5 représentant des zones dolomitiques.

La fonction indicatrice peut aussi prendre la forme :  $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Ca} + aX)$ , X étant le comptage de rayons gamma d'activation à l'instant  $T_0$  d'un élément, tel que l'aluminium-28, qui existe normalement en faibles quantités à la fois dans les calcaires et dans les dolomites, et  $a$  étant un coefficient sélectionné pour obtenir la

contribution souhaitée de l'élément X à la fonction. Cette forme de fonction est avantageuse dans des formations, telles que du quartz, où les activités du magnésium et du calcium sont nulles ou voisines de zéro. Le rapport Ca/Mg n'a alors aucun sens car son numérateur et son dénominateur sont voisins de zéro. Naturellement, on peut utiliser d'autres éléments que l'aluminium. On peut aussi remplacer la quantité  $aX$  par une constante. Si on le désire, le calculateur 42 peut être programmé pour n'utiliser cette dernière fonction de rapport que dans certaines conditions, par exemple lorsque les taux de comptage pour le calcium et le magnésium sont inférieurs à des seuils prédéterminés.

La mesure de l'activité due à l'activation de  $^{28}\text{Al}$  est également utile comme indication indépendante de lithologie, notamment comme indicateur d'argilosité. Dans ce cas, il est souhaitable d'éviter la contamination de la raie d'activation de  $^{28}\text{Al}$  par la raie  $^{28}\text{Si}(n, p)^{28}\text{Al}$ .

Par conséquent, on utilisera de préférence une source de neutrons faiblement énergétiques, par exemple au californium-252, pour éviter l'apparition de la réaction  $^{28}\text{Si}(n, p)^{28}\text{Al}$ .

Quelle que soit la fonction utilisée, le calculateur 42, après avoir effectué l'opération de normalisation indiquée par le bloc 54, calcule le rapport souhaité, par exemple le rapport Ca/Mg (bloc 56), à partir des taux de comptage pour  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$  à l'instant  $T_0$ . Ensuite, (bloc 58) on lit la valeur du rapport et les taux de comptage instantanés pour les deux éléments. Ces valeurs sont appliquées à un enregistreur 60 (figure 1) pour être affichées. L'enregistreur 60 est classique et fournit, en fonction de la profondeur, une représentation visuelle et/ou un enregistrement magnétique des valeurs des taux de comptage mesurés et du rapport. Un dispositif classique détecte les mouvements du câble et fournit les indications de profondeur sur une liaison 62. Si on le désire, les signaux de sortie du calculateur correspondant à  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$  peuvent être appliqués à un traceur X-Y 64 pour fournir un diagramme comparatif du type représenté sur la figure 3. De tels traceurs X-Y sont classiques.

Bien que le calculateur ait été représenté à l'emplacement du puits, il peut aussi être situé à distance et travailler sur des données enregistrées. Dans ce but, les signaux de sortie des circuits de réception 38 peuvent être enregistrés directement en fonction de la profondeur par un enregistreur magnétique 66.

Comme mentionné ci-dessus, on peut utiliser une source de neutrons pulsée au lieu de la source de neutrons continue. Dans le cas d'une source continue on combine la distance source-détecteur et la vitesse de déplacement pour éliminer le rayonnement résultant de la diffusion inélastique et de la capture de neutrons thermiques. Avec une source pulsée, on peut rapprocher le détecteur de la source en intercalant un écran approprié pour les neutrons. Comme la source est mise en marche puis arrêtée, on peut isoler le rayonnement résultant de l'activation, et l'on peut régler la durée d'acquisition des données par un cadencement approprié disposé au fond ou en surface. L'avantage de placer la source à côté du détecteur est de permettre la détection d'éléments ayant des périodes radioactives très courtes, par exemple de l'ordre d'une seconde ou moins. Il ne serait pas possible de déplacer un appareil dont la distance source-détecteur est importante à une vitesse suffisante pour détecter ces éléments.

Bien que l'invention ait été décrite et représentée en se référant à des modes de réalisation particuliers, on peut y apporter différentes modifications sans sortir du cadre de l'invention. Par exemple, au lieu d'utiliser un analyseur multi-voies et un calculateur numérique programmé pour mesurer les taux de comptage pour  $^{27}\text{Mg}$  et  $^{49}\text{Ca}$ , les mesures peuvent être effectuées en utilisant deux analyseurs à une seule voie et des dispositifs associés de mesure du taux de comptage, le rapport peut être calculé dans un circuit diviseur classique. De tels circuits sont bien connus et disponibles dans le commerce.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour étudier la lithologie des formations traversées par un sondage, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
  - irradier une formation par des neutrons d'énergie suffisante pour y provoquer les réactions d'activation  $^{26}\text{Mg}(n, \gamma) ^{27}\text{Mg}$  et  $^{48}\text{Ca}(n, \gamma) ^{49}\text{Ca}$ ;
  - mesurer le niveau d'activité des rayons gamma résultant de la décroissance du  $^{27}\text{Mg}$  en utilisant un détecteur de rayons gamma de résolution élevée;
  - mesurer le niveau d'activité des rayons gamma résultant de la décroissance du  $^{49}\text{Ca}$  en utilisant un détecteur de rayons gamma de résolution élevée; et
  - combinaison ladite mesure de  $^{27}\text{Mg}$  et ladite mesure de  $^{49}\text{Ca}$  pour fournir une indication sur la lithologie de la formation.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de combinaison consiste à former une fonction du rapport des mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$ , la valeur de ladite fonction fournissant une indication sur la lithologie de la formation.
3. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend l'étape consistant à enregistrer les mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  et la valeur de ladite fonction du rapport en fonction de la profondeur.
4. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce que le numérateur de ladite fonction de rapport est constitué par une des mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  et son dénominateur comprend la somme desdites mesures.
5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que ledit dénominateur comprend la somme desdites mesures plus une autre quantité.

6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend de plus l'étape consistant à mesurer l'activité des rayons gamma résultant de la décroissance d'un isotope instable de Al, ladite autre quantité étant proportionnelle à ladite mesure des rayons gamma de Al.
7. Procédé pour étudier la lithologie des formations traversées par un sondage, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- former des représentations, sous forme de signaux, de l'activité des rayons gamma résultant de la décroissance du  $^{27}\text{Mg}$  après son activation par irradiation au moyen de neutrons;
- former des représentations, sous forme de signaux, de l'activité des rayons gamma résultant de la décroissance du  $^{49}\text{Ca}$  après son activation par irradiation au moyen de neutrons;
- déduire desdites représentations des mesures distinctes des niveaux d'activité des rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$ ; et combiner lesdites mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  pour fournir une indication sur la lithologie de la formation.
8. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce que l'étape de combinaison consiste à former une fonction du rapport des mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$ , la valeur de ladite fonction fournissant une indication sur la lithologie de la formation.
9. Procédé suivant la revendication 8, caractérisé en ce que le numérateur de ladite fonction de rapport est constitué par une des mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  et son dénominateur comprend la somme desdites mesures.
10. Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce que ledit dénominateur comprend la somme desdites mesures plus une autre quantité.

11. Procédé suivant la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes suivantes :
- former une représentation, sous forme de signaux, du niveau d'activité des rayons gamma résultant de la décroissance d'un isotope instable de Al après son irradiation au moyen de neutrons; et
- déduire une mesure du niveau de ladite activité des rayons gamma de Al, ladite autre quantité étant proportionnelle à ladite mesure des rayons gamma de Al.
- 10 12. Dispositif pour étudier la lithologie des formations traversées par un sondage, caractérisé en ce qu'il comprend :
- des moyens pour irradier une formation avec des neutrons possédant une énergie suffisante pour y provoquer les réactions d'activation  $^{26}\text{Mg} (n, \gamma) ^{27}\text{Mg}$  et  $^{48}\text{Ca} (n, \gamma) ^{49}\text{Ca}$ ;
- 15 des moyens de détection de rayons gamma de résolution élevée pour détecter les rayons gamma résultant de la décroissance d'isotopes instables de la formation;
- des moyens couplés auxdits moyens de détection pour mesurer séparément le niveau d'activité des rayons gamma résultant de la décroissance du  $^{27}\text{Mg}$  et le niveau d'activité des rayons gamma résultant de la décroissance du  $^{49}\text{Ca}$ ; et
- 20 des moyens pour combiner la mesure des rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et la mesure des rayons gamma de  $^{49}\text{Ca}$  pour fournir une indication sur la lithologie de la formation.
- 25 13. Dispositif suivant la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens de combinaison comprennent des moyens pour former une fonction du rapport de la mesure de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de la mesure de rayons gamma de  $^{49}\text{Ca}$ , la valeur de ladite fonction fournissant une indication sur la lithologie de la formation.
- 30 14. Dispositif suivant l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour enregistrer les mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  et la valeur de ladite fonction de rapport en fonction de la profondeur.

15. Dispositif suivant la revendication 13, caractérisé en ce que lesdits moyens de combinaison comprennent des moyens pour former la somme de ladite mesure de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de ladite mesure des rayons gamma pour  $^{49}\text{Ca}$ ; et que lesdits moyens  
5 de formation de la fonction de rapport calculent une desdites mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  comme numérateur, et la somme desdites mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  comme dénominateur.
16. Dispositif suivant la revendication 13, caractérisé en  
10 ce que lesdits moyens de combinaison comprennent des moyens pour former la somme desdites mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  plus une autre quantité; et lesdits moyens de formation de la fonction de rapport calculent une desdites mesures de rayons  
15 gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  comme numérateur, et la somme desdites mesures de rayons gamma de  $^{27}\text{Mg}$  et de  $^{49}\text{Ca}$  et de ladite autre quantité comme dénominateur.
17. Dispositif suivant la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens couplés auxdits moyens de  
20 détection pour mesurer le niveau d'activité des rayons gamma résultant de la décroissance d'un isotope instable de Al, ladite autre quantité étant proportionnelle à ladite mesure de rayons gamma de Al.
18. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 12  
25 à 17, caractérisé en ce que lesdits moyens de détection de résolution élevée sont constitués par un détecteur au germanium de grande pureté.
19. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 12  
30 à 17, caractérisé en ce que lesdits moyens de détection de résolution élevée sont constitués par un détecteur au germanium au lithium diffusé.



1/3

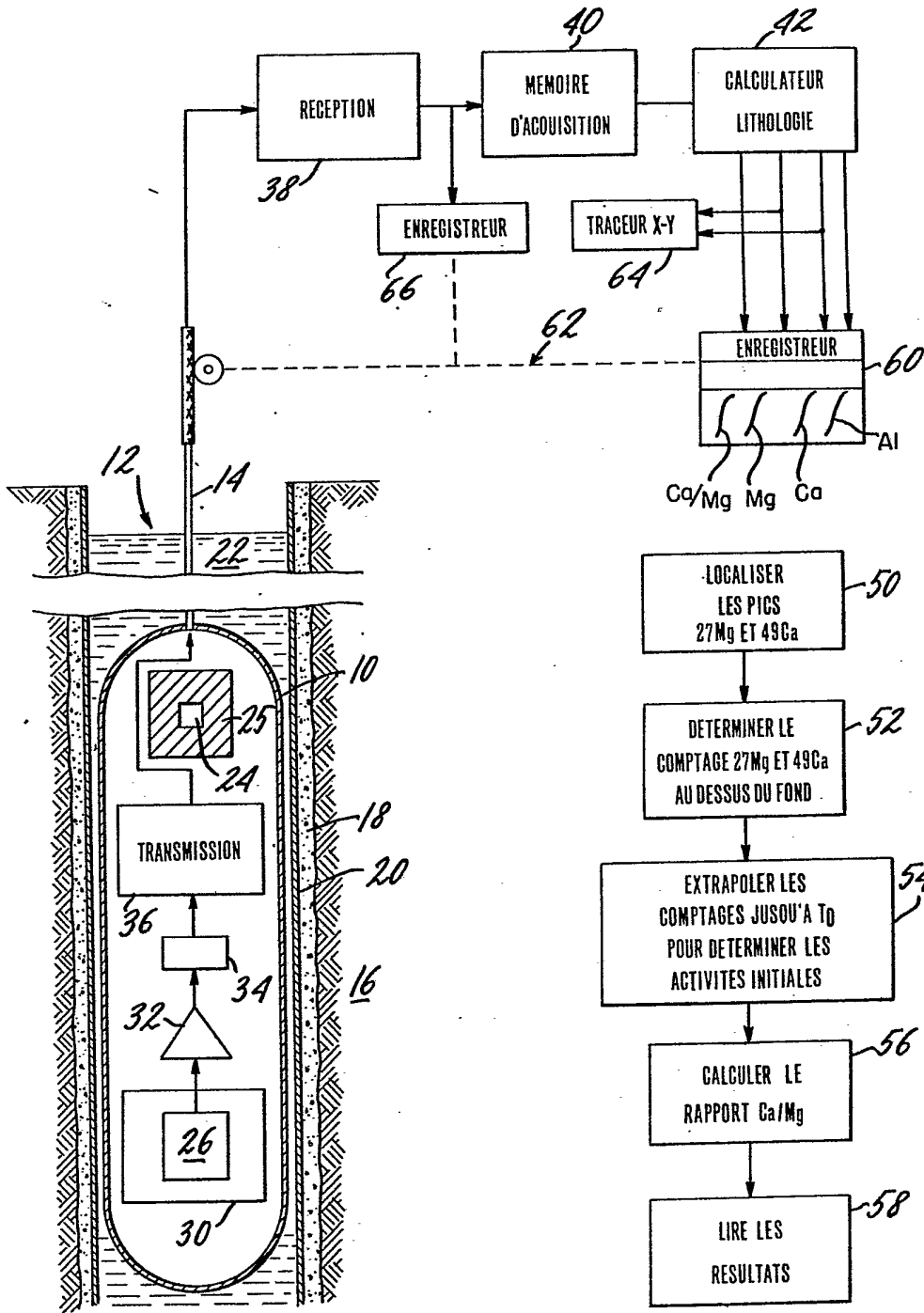


FIG. 1

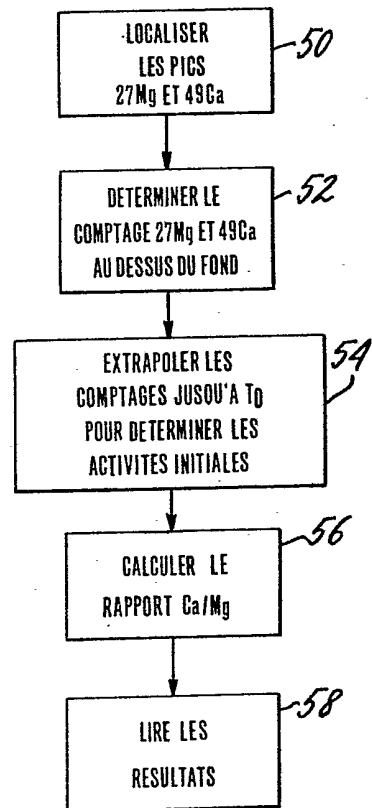
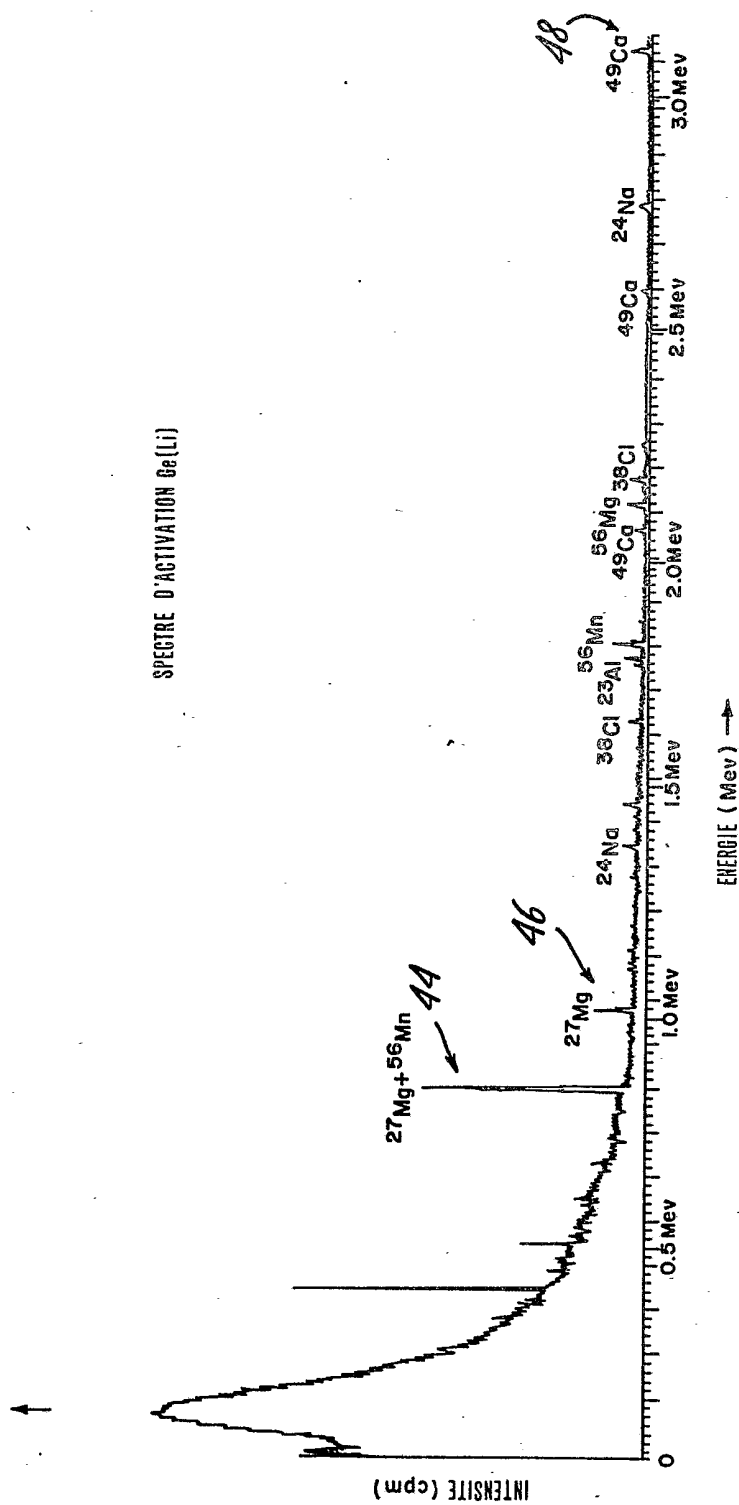


FIG. 4

2/3

FIG. 2



3/3

FIG. 3

