



Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



FASCICULE DU BREVET A5

11

617 512

<p>21 Numéro de la demande: 12643/77</p> <p>22 Date de dépôt: 17.10.1977</p> <p>30 Priorité(s): 18.10.1976 US 733605</p> <p>24 Brevet délivré le: 30.05.1980</p> <p>45 Fascicule du brevet publié le: 30.05.1980</p>	<p>73 Titulaire(s): Beckman Instruments, Inc., Fullerton/CA (US)</p> <p>72 Inventeur(s): Samuel H. Luitwieler, Jr., La Mirada/CA (US) Donald L. Horrocks, Placentia/CA (US)</p> <p>74 Mandataire: Kirker & Cie, Genève</p>
--	--

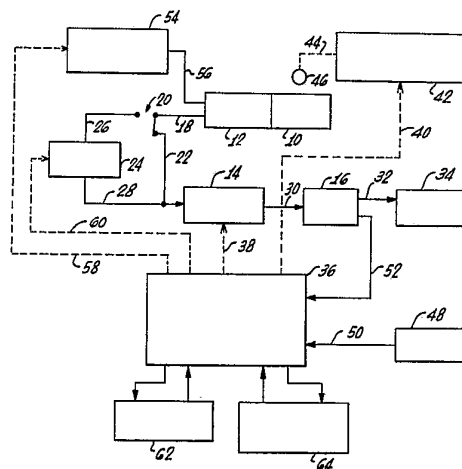
54 Procédé et moyens d'étalonnage d'un compteur gamma.

57 Le compteur gamma est constitué d'un détecteur (10) auquel est associé un tube photomultiplicateur (12), d'un discriminateur d'amplitudes d'impulsions (14) et d'une échelle de comptage (16). Les impulsions électriques du photomultiplicateur (12) sont transmises soit par des lignes (18, 22) directement, soit par des lignes (18, 26, 28) et un atténuateur (24) au discriminateur (14).

Le but est d'étalonner avec précision et de manière indépendante les différentes plages de mesure d'énergie.

Pour ce faire on présente une source d'étalonnage (46) émettant des rayons gamma d'énergie connue devant le détecteur (10). On règle l'amplitude des impulsions de sortie du tube photomultiplicateur (12) en agissant sur une source haute tension (54) qui fournit par une ligne (56) la tension de fonctionnement au tube. On poursuit ce réglage jusqu'à ce que le rapport de l'amplitude des impulsions de sortie et de l'amplitude maximale détectable soit égal au rapport du niveau d'énergie connue de la source d'étalonnage (46) et de la limite supérieure de la plage de mesure désirée. La valeur de réglage est mémorisée et on peut réappliquer ultérieurement la valeur de réglage mémorisée lorsqu'on veut utiliser l'instrument étalonné sur la plage correspondante.

Le déroulement du processus se fait à l'aide d'un dispositif de commande à programme.



REVENDEICATIONS

1. Procédé d'étalonnage d'un compteur gamma du type comprenant un détecteur à scintillations et un ensemble photomultiplicateur, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il consiste :

à placer devant le détecteur une source d'étalonnage émettant des rayons gamma d'énergie connue;

à régler le gain global de l'ensemble photomultiplicateur jusqu'à ce que le rapport de l'amplitude de ses impulsions de sortie et de l'amplitude maximale détectable devienne égal au rapport du niveau d'énergie connu de la source d'étalonnage et de la limite supérieure désirée pour la plage de mesure d'énergie;

à mémoriser les valeurs fournies par l'opération de réglage, et à répéter les mêmes opérations de réglage et de mémorisation pour les limites supérieures désirées correspondant aux autres plages de mesure d'énergie, les valeurs mémorisées pouvant être ultérieurement lues et utilisées pour sélectionner une plage de mesure particulière de l'instrument.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'opération de réglage consiste à faire varier la valeur d'une tension appliquée à l'ensemble photomultiplicateur.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ensemble photomultiplicateur comprend un tube photomultiplicateur et des moyens d'atténuation du signal, l'opération de réglage consistant à faire varier le gain desdits moyens d'atténuation.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'opération de réglage consiste à déterminer l'amplitude relative désirée pour des impulsions de niveau d'énergie connu en multipliant l'amplitude maximale détectable par le rapport dudit niveau d'énergie connu et de la limite supérieure désirée pour la plage de mesure d'énergie, à fixer le gain de l'ensemble photomultiplicateur à une valeur minimale, et à faire varier le gain de l'ensemble photomultiplicateur jusqu'à ce que le pic correspondant au rayonnement d'énergie connue soit centré sur l'amplitude relative désirée.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'opération de réglage du gain de l'ensemble photomultiplicateur comprend une phase de réglage grossier permettant d'amener rapidement le pic à proximité et en dessous de l'amplitude relative désirée, et une phase de réglage fin permettant de centrer avec précision le pic sur l'amplitude relative désirée.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la phase de réglage grossier du gain de l'ensemble photomultiplicateur consiste :

à établir une première chaîne de comptage des impulsions dont les amplitudes relatives sont comprises entre une valeur relativement basse et l'amplitude relative désirée;

à établir une seconde chaîne de comptage des impulsions dont l'amplitude relative est comprise entre l'amplitude relative désirée et une valeur relativement élevée;

à compter les impulsions reçues par les deux chaînes;

à déterminer le rapport des vitesses de comptage entre les deux chaînes, et

à régler le gain global jusqu'à ce que ledit rapport prenne une valeur prédéterminée.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la phase de réglage grossier du gain de l'ensemble photomultiplicateur comprend les opérations préliminaires d'établissement d'une chaîne unique de comptage de toutes les impulsions dont l'amplitude est comprise entre 0 et la limite supérieure de détection, à compter les impulsions dans ladite chaîne, et à régler le gain global jusqu'à ce que la vitesse de comptage atteigne un seuil minimal prédéterminé.

8. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la phase de réglage fin du gain de l'ensemble photomultiplicateur consiste :

à établir une chaîne unique de comptage des impulsions dans une fenêtre d'amplitude relativement étroite dont les limites inférieure et supérieure sont symétriques par rapport à l'amplitude relative désirée;

à compter les impulsions tombant dans ladite fenêtre;

à régler le gain global par petits incréments jusqu'à ce que la vitesse de comptage soit maximale de manière à centrer le pic sur l'amplitude relative désirée.

9. Moyens d'étalonnage d'un compteur gamma à détecteur à scintillations et tube photomultiplicateur sur plusieurs plages d'énergie absolue pour la mise en œuvre du procédé de la revendication 1, caractérisés en ce qu'ils comprennent :

un dispositif de présentation d'une source d'étalonnage devant le détecteur de l'instrument, ladite source émettant des rayons gamma d'énergie connue;

un dispositif de réglage de la tension de fonctionnement, et par conséquent du gain global, du tube photomultiplicateur jusqu'à ce que le rapport de l'amplitude de ses impulsions de sortie et de l'amplitude maximale détectable soit égal au rapport du niveau d'énergie connue de la source d'étalonnage et de la limite supérieure de la plage de mesure désirée;

un moyen de mémoriser la valeur de réglage ainsi obtenue pour la source d'alimentation du tube photomultiplicateur, et un moyen de lire ultérieurement et de réappliquer la valeur de réglage mémorisée lorsqu'on veut utiliser l'instrument étalonné sur la plage correspondante d'énergie absolue.

10. Moyens d'étalonnage d'un compteur gamma selon la revendication 9, caractérisés en ce qu'ils comprennent des moyens d'atténuation réglables recevant les impulsions de sortie du tube photomultiplicateur.

La présente invention concerne, d'une manière générale, les compteurs gamma, c'est-à-dire les instruments de détection et de mesure des rayonnements gamma. L'invention concerne plus particulièrement une nouvelle technique d'étalonnage des compteurs gamma.

Les compteurs gamma utilisent généralement un détecteur à scintillations constitué d'un cristal d'iodure de sodium activé au thallium. Les rayons gamma émis par la source radioactive à contrôler excitent certains électrons dans le cristal d'iodure de sodium et ces électrons réagissent avec le thallium en émettant des photons. Les scintillations résultantes sont détectées par un tube photomultiplicateur et converties en impulsions électriques représentatives. Pour les mesures, les impulsions de sortie du photomultiplicateur doivent avoir des amplitudes proportionnelles aux énergies des rayons gamma dont elles sont issues. Les compteurs gamma comportent généralement des organes permettant de trier ou de filtrer les impulsions de sortie du tube photomultiplicateur pour produire un spectre d'énergie ou d'amplitudes d'impulsions.

Les spécialistes savent que le spectre d'énergie qui peut être obtenu à l'aide d'un compteur gamma ne reflète pas exactement le spectre d'énergie du rayonnement incident. Les rayonnements gamma sont essentiellement monoénergétiques, c'est-à-dire qu'une substance radioactive, caractérisée par une émission gamma à un certain niveau d'énergie, émettra chaque rayon gamma exactement au même niveau d'énergie. Si l'on veut représenter graphiquement le spectre d'énergie en portant en ordonnées le nombre de scintillations détectées et en abscisses l'énergie des rayons gamma incidents, on obtient en théorie une ou plusieurs lignes verticales représentatives du ou des niveaux d'énergie caractéristiques de l'émission gamma de substance radioactive. Dans la pratique, différentes causes d'erreur font que le spectre obtenu s'écarte sensiblement du modèle théorique. En particulier, le cristal d'iodure de sodium ne produit pas toujours

exactement le même nombre d'électrons excités pour chaque rayon gamma incident et le tube photomultiplicateur n'amplifie pas toujours de la même manière les scintillations détectées par sa photocathode. Pour ces raisons, le spectre d'énergie ou d'amplitudes d'impulsions obtenu à la sortie du tube photomultiplicateur présente une courbe en cloche, caractéristique d'une distribution gaussienne plutôt qu'une ligne verticale correspondant au niveau d'énergie des rayons gamma incidents. Cette courbe de distribution est généralement connue sous le nom de pic du spectre d'énergie.

La plupart des compteurs gamma utilisent un ou plusieurs discriminateurs d'amplitudes d'impulsions associés à la sortie du tube photomultiplicateur. Chaque discriminateur établit une fenêtre d'amplitudes définie par des limites supérieure et inférieure réglables. Le discriminateur a une fonction de filtre passe-bande, c'est-à-dire qu'il bloque les impulsions dont l'amplitude se situe à l'extérieur de la fenêtre et laisse passer les autres vers un diviseur de fréquence ou un compteur d'impulsions. Les limites de discrimination sont généralement fixées sur une échelle arbitraire, par exemple entre 0 et 1000. Cependant, dans de nombreuses applications des compteurs gamma, il est important d'obtenir un résultat directement exprimé en niveaux d'énergie absolus. Pour cela, il faut que le compteur gamma soit étalonné de façon que la plage relative des limites de discrimination (0 à 1000) soit rapportée à une plage d'énergie absolue généralement mesurée en millions d'électrons-volts (MeV) ou en milliers d'électrons-volts (keV).

Il est souhaitable qu'un compteur gamma puisse mesurer des rayonnements dans des plages d'énergie différentes. Par exemple, l'échelle relative de 0 à 1000 peut correspondre à une plage d'énergie de 0 à 0,5 MeV pour une mesure particulière et à des plages d'énergie de 0 à 1,0 ou 0 à 2,0 MeV pour d'autres mesures effectuées avec le même instrument. Jusqu'ici, les compteurs gamma étaient étalonnés pour une plage d'énergie particulière, généralement la plus basse, et les autres plages d'énergie étaient obtenues par l'utilisation d'atténuateurs de précision réduisant l'amplitude des impulsions dans une proportion connue. Par cette technique, on peut tout d'abord étalonner le compteur gamma dans la plage 0-0,5 MeV en utilisant une source radioactive connue pour émettre des rayons gamma au niveau d'énergie 0,25 MeV. On règle ensuite les atténuateurs de manière à aligner le pic qui correspond à la source d'étalonnage exactement à mi-échelle, soit en face de la graduation 500. Dans ce cas, la lecture à pleine échelle est bien 0,5 MeV. Pour obtenir la plage d'énergie absolue 0-1,0 MeV, il suffit de réajuster les atténuateurs, de façon à introduire un facteur d'atténuation supplémentaire de deux, ce qui revient à diviser par deux l'amplitude de toutes les impulsions de sortie du tube photomultiplicateur. De même, pour obtenir la plage d'énergie absolue 0-2,0 MeV, il faut réajuster les atténuateurs pour introduire un nouveau facteur d'atténuation de deux. Dans tous les cas, le tube photomultiplicateur travaille près de sa tension maximale de service.

Il est évident que toute erreur dans l'étalonnage de la plage la plus basse, 0-0,5 MeV dans l'exemple précédent, se retrouve amplifiée sur les plages de mesure supérieures. Il existe donc un réel besoin pour une technique d'étalonnage des compteurs gamma permettant d'étalonner avec précision et de manière indépendante les différentes plages de mesure d'énergie.

C'est le but de la présente invention que de fournir un procédé et des moyens d'étalonnage d'un compteur gamma à plusieurs plages de mesure, de façon que l'étalonnage d'une plage d'énergie absolue soit indépendant de celui des autres plages. Le procédé d'étalonnage et les moyens d'étalonnage sont définis dans la revendication 1, respectivement la revendication 9.

Pour régler le gain global du tube photomultiplicateur, il est préférable d'agir sur la valeur de sa haute tension. On peut cependant utiliser des atténuateurs variables à la sortie du tube photomultiplicateur ou une combinaison de ces deux méthodes de

régulation. Dans les deux cas, le gain global est réglé jusqu'à ce que le pic qui correspond au rayonnement de la source d'étalonnage soit centré par rapport à une valeur de discrimination correspondant au niveau d'énergie connu de la source d'étalonnage mesuré sur la plage d'énergie désirée. Cette valeur de discrimination pour des impulsions d'énergie connues est calculée en multipliant l'amplitude relative maximale des impulsions, c'est-à-dire la valeur de discrimination à pleine échelle, par le rapport du niveau d'énergie connu et du niveau d'énergie détectable maximal désiré.

Le réglage du gain du tube photomultiplicateur est obtenu en fixant tout d'abord le gain à une valeur minimale, puis en augmentant jusqu'à ce que le pic qui correspond à l'émission de la source d'étalonnage soit centré sur l'amplitude relative désirée, calculée de la manière décrite ci-dessus. Pour accélérer l'opération de réglage, il est préférable d'augmenter le gain par paliers relativement importants (réglage grossier) jusqu'à ce que le pic approche de l'amplitude relative désirée, puis de continuer par petits incréments (réglage fin) jusqu'à ce que le centre du pic coïncide exactement avec l'amplitude relative désirée.

En pratique, ces réglages peuvent être effectués en établissant une première fenêtre de discrimination comprise entre une valeur relativement basse et l'amplitude désirée, et une seconde fenêtre de discrimination contiguë à la première et s'étendant entre l'amplitude relative désirée et l'amplitude relative maximale. La valeur des rayonnements reçus dans les deux fenêtres est alors mesurée pendant que le gain augmente par paliers relativement importants. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le rapport des nombres d'impulsions respectivement détectées dans la seconde et dans la première fenêtre atteigne un seuil préétabli. A ce moment, une nouvelle fenêtre de discrimination est établie avec des limites supérieure et inférieure relativement proches et symétriques par rapport à la valeur relative désirée. Pendant que le gain est progressivement augmenté par petits incréments, le nombre d'impulsions reçues dans la fenêtre est compté et, lorsqu'il passe par un maximum, le pic est considéré comme centré par rapport à la valeur relative d'amplitude désirée. A ce point, la valeur de la tension ou le réglage de l'atténuateur, ou les deux, peuvent être enregistrés ou mémorisés en vue d'une utilisation ultérieure, lorsque la plage correspondante sera sélectionnée sur l'instrument.

On peut également effectuer un réglage grossier préliminaire en conditionnant la chaîne de comptage, de façon qu'elle enregistre toutes les impulsions sans tenir compte de leurs amplitudes, et en augmentant la tension du tube photomultiplicateur par incréments relativement grands jusqu'à ce qu'un nombre prédéterminé d'impulsions soit détecté à la minute.

Les dessins annexés représentent à titre d'exemple non limitatif une application du procédé et du système d'étalonnage de la présente invention.

La fig. 1 est un schéma synoptique du dispositif de l'invention.

La fig. 2 est un graphique montrant trois courbes d'étalonnage permettant d'établir une correspondance entre les énergies relatives et les énergies absolues dans trois plages de mesure différentes.

Les fig. 3a à 3c sont des spectres d'amplitudes d'impulsions produits par la même source d'étalonnage pour trois gains différents du tube photomultiplicateur correspondant à trois plages d'énergie absolue.

Les fig. 4a à 4e sont des spectres d'amplitudes illustrant le processus de réglage du gain du tube photomultiplicateur qui permet de centrer le pic de la source d'étalonnage sur l'amplitude relative choisie pour l'étalonnage de l'instrument sur une certaine plage d'énergie absolue.

La fig. 5 représente un organigramme illustrant les fonctions exécutées par le contrôleur 36 de la fig. 1 pendant l'étalonnage.

Les dessins, et en particulier la fig. 1, illustrent une nouvelle technique d'étalonnage des compteurs gamma à plusieurs plages de mesure, l'étalonnage de chaque plage d'énergie étant indépen-

dant de celui des autres plages de l'instrument. Le dispositif de la fig. 1 comprend un compteur gamma classique constitué d'un détecteur 10 auquel est associé un tube photomultiplicateur 12, d'un ou plusieurs discriminateurs d'amplitudes d'impulsions 14 et d'un nombre correspondant d'échelles de comptage 16. Le détecteur 10 est généralement un cristal d'iodure de sodium activé au thallium qui transforme les rayons gamma incidents en scintillations lumineuses.

Le rôle du tube photomultiplicateur 12 est de convertir les scintillations du cristal détecteur en impulsions électriques proportionnelles qui apparaissent sur une ligne de sortie 18. Les impulsions électriques de la ligne 18 peuvent être transmises directement aux discriminateurs 14 par un commutateur 20 et une ligne 22. Dans l'autre position du commutateur 20, les impulsions de la ligne 18 sont dirigées vers une ligne 26 et traversent un ou plusieurs atténuateurs de précision 24 avant de revenir par une ligne 28 aux discriminateurs 14.

Les discriminateurs d'amplitudes d'impulsions 14 sont utilisés comme des filtres d'amplitudes ayant des limites de discrimination supérieure et inférieure qui définissent une bande passante en dehors de laquelle toutes les impulsions sont bloquées. Les limites de discrimination peuvent être réglables sur une échelle arbitraire, par exemple entre 0 et 1000. La sortie de chaque discriminateur 14 est représentative du nombre d'impulsions d'entrée dont les amplitudes tombent dans la bande passante définie par les limites de discrimination. La ou les sorties apparaissent sur une ou plusieurs lignes 30 et sont appliquées aux échelles de comptage 16 qui sont couramment employées dans les instruments de mesure de rayonnements. Les échelles 16 sont reliées par des lignes 32 à un dispositif de sortie 34 qui peut être une imprimante ou un appareil de visualisation directe.

Le compteur gamma décrit jusqu'ici est tout à fait classique et peut être mis en œuvre manuellement aussi bien pour l'étalonnage que pour les mesures. Dans ce cas, l'opérateur affiche les limites supérieure et inférieure des discriminateurs d'amplitudes 14 avant d'amener l'échantillon radioactif ou la source d'étalonnage devant le détecteur 10. Il observe ensuite les échelles de comptage 16 et le dispositif de sortie 34 pour connaître les résultats numériques de la mesure. Bien que la technique de la présente invention soit applicable à un instrument exploité manuellement, elle convient particulièrement bien aux instruments plus complexes dont le fonctionnement automatique est supervisé par un contrôleur 36 qui peut être soit une logique électronique câblée, soit un microprocesseur ou un mini-ordinateur spécialement programmé.

Le contrôleur 36 fixe les limites supérieure et inférieure des discriminateurs d'amplitudes 14 par une liaison 38 et commande, par liaison 40, un mécanisme de transport 42 des échantillons radioactifs et des sources d'étalonnage. Sur la fig. 1, la ligne discontinue 44 représente la liaison entre le mécanisme de transport 32 et une source d'étalonnage 46.

Le contrôleur 36 reçoit en outre des signaux de commande et des paramètres d'un périphérique d'entrée 48 par une liaison 50. Le fonctionnement de l'instrument est déclenché par le dispositif d'entrée 48 ou par un autre moyen tel qu'une séquence de marqueurs codés (non représentés) présentés à l'instrument avant la mise en place des échantillons radioactifs ou des sources d'étalonnage. Les paramètres de mesure, notamment les limites des discriminateurs d'amplitudes 14, peuvent être préenregistrés dans le contrôleur 36, de façon que l'opérateur n'ait pas à les réintroduire à chaque fois. Après le lancement d'une séquence opératoire, le fonctionnement du système peut être entièrement automatique, les résultats des mesures étant transmis des compteurs 16 au contrôleur 36 par des liaisons 52. Dans ce cas, les informations d'amplitudes fournies par les discriminateurs 14 donnent des mesures numériques permettant de choisir des fenêtres préétablies d'énergie relative, définies par deux points de l'échelle arbitraire 0 à 1000. Pour de nombreuses applications des compteurs gamma, il est important que l'on puisse convertir les

niveaux d'énergie relative en énergie absolue, ce qui revient à établir une correspondance connue entre l'échelle 0 à 1000 et une échelle d'énergie absolue.

Ici l'amplitude des impulsions obtenues à la sortie du tube photomultiplicateur 12 et appliquées aux discriminateurs d'amplitudes 14, lorsque la source d'étalonnage 46 est placée devant le détecteur 10, est ajustée pour étalonner correctement l'instrument sur la plage désirée d'énergie absolue. Les paramètres d'étalonnage ainsi obtenus sont ensuite enregistrés pour être réutilisés chaque fois que la même plage d'énergie absolue est sélectionnée. Ce processus d'étalonnage est répété pour les autres plages de mesure de l'instrument qui sont ainsi étalonnées indépendamment les unes des autres.

Dans le mode de réalisation illustré, on règle l'amplitude des impulsions de sortie du tube photomultiplicateur 12 en agissant sur une source haute tension 54 qui fournit, par une ligne 56, la tension de fonctionnement du tube 12. On peut également jouer sur le réglage des atténuateurs de précision 24. Le contrôleur 36 effectue ces réglages par des lignes de commande 58 et 60. Le contrôleur 36 communique avec une première mémoire 62 qui est destinée à enregistrer les éléments de réglage appliqués aux lignes 58 et 60. Dans le cas d'un instrument à commande manuelle (pas de contrôleur 36), les éléments de réglage peuvent être enregistrés sous la forme de points le long d'un réseau d'impédances ou de positions de potentiomètre.

Le réglage de la haute tension de la source 54 permet de faire varier le gain global du tube photomultiplicateur 12 pour ajuster l'amplitude des impulsions à la sortie du tube photomultiplicateur. Ce mode de réglage n'implique pas une connaissance de la valeur absolue de la haute tension présente sur la ligne 56, ni même l'existence d'une relation linéaire entre le signal de réglage appliqué à la ligne 58 et la valeur de la haute tension. Ainsi qu'on le verra, le réglage voulu de la haute tension est obtenu en surveillant la sortie des discriminateurs d'amplitudes 14. Une éventuelle non-linéarité de l'alimentation haute tension 54 est sans conséquence, tant que l'application d'un signal donné à la ligne 58 produit une tension constante et reproductible sur la ligne 56.

Le contrôleur 36 communique également avec une seconde mémoire 64 enregistrant les paramètres de mesure, y compris les paramètres de sélection de plage, qui sont généralement fournis par le périphérique d'entrée 48.

La fig. 2 est un graphique illustrant trois relations d'étalonnage entre une échelle d'énergie relative graduée arbitrairement de 0 à 1000 et une échelle d'énergie absolue graduée en mégaelectrons-volts. Dans cet exemple théorique, on suppose que la source gamma d'étalonnage émet à un niveau énergétique de 0,5 MeV. Bien que le rayonnement gamma soit monoénergétique, on a vu que différentes erreurs aléatoires déformaient le spectre d'amplitudes pour un rayonnement d'énergie constante en un pic plus ou moins étalé, centré sur la valeur nominale 0,5 MeV. En centrant le pic à pleine échelle, c'est-à-dire sur la graduation 1000, on étalonne l'instrument pour la plage d'énergie absolue 0-0,5 MeV. En centrant le pic à mi-échelle, c'est-à-dire sur la graduation 500, on étalonne l'instrument pour la plage d'énergie absolue 0-1,0 MeV. D'une manière analogue, en centrant le pic 0,5 MeV au premier quart de l'échelle, c'est-à-dire sur la graduation 250, on étalonne l'instrument pour la plage d'énergie absolue 0-2,0 MeV.

Bien qu'on puisse utiliser une source d'étalonnage différente pour chaque plage de l'instrument, il est bien entendu préférable de choisir une seule source d'étalonnage dont le pic caractéristique est totalement couvert par toutes les plages. Le choix de la source dépend évidemment des plages d'énergie à étalonner, mais on peut quand même spécifier certaines caractéristiques souhaitables. Tout d'abord, le radionuclide utilisé doit avoir une période relativement longue n'entraînant pas de variations sensibles sur la durée de vie prévue pour l'instrument. De plus, le rayonnement gamma caractéristique ne doit pas être masqué par

d'autres rayonnements de la même source. Ainsi, pour un instrument utilisable sur les plages d'énergie 0-2,0, 0-1,0 et 0-0,5 MeV, on peut choisir le baryum 133 dont la période radioactive est 7,2 ans et dont l'émission gamma principale se situe au niveau 0,356 MeV. Les autres émissions gamma du baryum 133 sont de moindre énergie et, comme on le verra plus loin, n'interfèrent pas avec les mesures faites sur le pic 0,356 MeV. Enfin, le pic 0,356 MeV est à l'intérieur des trois plages d'énergie désirées.

Les fig. 3a à 3c sont des graphiques dont les abscisses représentent les amplitudes relatives sur l'échelle 0-1000 et dont les ordonnées représentent les nombres d'impulsions comptés par division de l'échelle horizontale. Sur la fig. 3b, le gain du tube photomultiplicateur, et éventuellement le gain des atténuateurs, ont été réglés de façon que le pic 0,356 MeV de la source d'étalonnage soit centré sur la graduation 356 de l'échelle horizontale. Dans ce cas, il est évident que la lecture à pleine échelle (graduation 1000) correspond à 1,0 MeV.

Sur le graphique de la fig. 3a, le gain a été réglé pour centrer le pic 0,356 MeV sur la graduation 178 de l'échelle horizontale. Dans ce cas, chaque division de l'échelle horizontale correspond à un incrément d'énergie de 0,002 MeV, de sorte que la lecture à pleine échelle représente 2,0 MeV.

De même, sur le graphique de la fig. 3c, le pic de la source d'étalonnage a été centré sur la graduation 712 de l'échelle horizontale. Dans ce cas, chaque division de l'échelle horizontale correspond à un incrément d'énergie de 0,0005 MeV, de sorte que la lecture à pleine échelle représente 0,5 MeV.

Un aspect important réside ici dans la technique de réglage du gain du tube photomultiplicateur 12 et/ou des atténuateurs 24 (fig. 1) pour déplacer le pic de la source d'étalonnage jusqu'à ce qu'il soit centré sur le niveau relatif désiré, comme sur les fig. 3a à 3c. D'une manière générale, cette technique comprend une phase initiale de réglage grossier du gain que l'on augmente par paliers relativement importants à partir d'un niveau de départ jusqu'à ce que le pic soit légèrement en dessous du niveau d'énergie sur lequel on désire le centrer. Sur la fig. 4a, le pic est sensiblement en dessous de la graduation 178 sur laquelle on veut le centrer. La fig. 4b montre le même pic à la fin de la phase de réglage grossier avec son front avant intersectant le niveau désiré d'énergie relative. La phase suivante de réglage fin consiste à augmenter le gain par petits incréments jusqu'à ce que le pic soit centré avec précision sur le niveau désiré d'énergie relative. Ce réglage fin est illustré par les fig. 4c à 4e et sera décrit en regard de l'organigramme annexé.

L'organigramme (fig. 5) illustre les fonctions exécutées par le contrôleur 36 (fig. 1) pendant l'étalonnage du compteur gamma. Ce processus correspond normalement au programme d'un microprocesseur ou d'un mini-ordinateur, mais on pourrait aussi effectuer manuellement les réglages de gain en notant les mesures enregistrées par les compteurs 16 (fig. 1).

Après le lancement du programme, la première opération effective est l'initialisation de la valeur de réglage de l'alimentation haute tension 54 (fig. 1). Cette valeur initiale n'est pas nulle et correspond à l'origine d'une échelle arbitraire allant par exemple de 0 à 1023. En fait, cette valeur de réglage initiale correspond à la tension minimale de fonctionnement du tube photomultiplicateur 12 (fig. 1) et il n'existe généralement pas de relation linéaire entre la valeur du signal de réglage et la tension qui est effectivement appliquée au tube.

La méthode ici préconisée nécessite l'emploi d'un instrument à au moins deux chaînes de comptage, c'est-à-dire comportant au moins deux discriminateurs d'amplitudes 14 et deux compteurs 16 (fig. 1). L'opération suivante de l'organigramme consiste à ouvrir au maximum la fenêtre de comptage de la première chaîne, c'est-à-dire à fixer sa limite inférieure à 0 et sa limite supérieure à 1000 sur l'échelle arbitraire de l'instrument. Après cela, la période de comptage de l'instrument est fixée à 0,01 mn. L'opération suivante consiste à incrémenter de 32 unités la valeur de réglage et

à effectuer un comptage sur la période prescrite. Ce saut de 32 unités est relativement important et correspond à un accroissement de 10 à 15 V de la tension de fonctionnement du tube. L'opération suivante est un branchement conditionnel basé sur la vitesse de comptage. Si cette vitesse ne dépasse pas 200 000 impulsions par minute, l'exécution reprend à l'opération précédente, c'est-à-dire que la valeur de réglage est à nouveau incrémentée de 32 unités et qu'un nouveau comptage est effectué pendant 0,01 mn. Cette boucle itérative permet d'augmenter par paliers le gain du tube photomultiplicateur jusqu'à ce que la vitesse de comptage atteigne une valeur significative. Le choix d'une période de comptage courte (0,01 mn) permet d'exécuter ces opérations en un temps total relativement court.

Lorsque la vitesse de comptage a atteint la valeur prescrite (200 000 impulsions à la minute), l'opération suivante en séquence consiste à établir des fenêtres de discrimination contiguës pour la première et la seconde chaîne de comptage, la limite commune aux deux fenêtres étant la valeur d'énergie relative sur laquelle on veut centrer le pic pour la plus haute des plages à étalonner.

Comme on le voit sur les fig. 3a-3c, l'étalonnage de la plus haute plage (0-2,0 MeV) nécessite que le pic soit centré sur un niveau assez bas d'énergie relative (178 sur la fig. 3a). Pour la plage intermédiaire (0-1,0 MeV), le pic doit être centré sur un niveau d'énergie relative plus élevé (356 sur la fig. 3b). Enfin, pour la plage la plus basse (0-0,5 MeV), le pic doit être centré sur un niveau d'énergie relative assez élevé (712 sur la fig. 3c). La méthode proposée consiste donc à étalonner d'abord la plage la plus haute, puis successivement les autres plages jusqu'à la plus basse en augmentant à chaque fois le gain global de l'instrument.

Les limites supérieure et inférieure de discrimination des chaînes 1 et 2 sont données dans la table qui figure à côté de l'opération correspondante de l'organigramme (fig. 5). Ainsi, pour la première plage étalonnée (2 MeV), les limites inférieure et supérieure pour la chaîne 1 sont respectivement 112 et 178, et les limites inférieure et supérieure pour la chaîne 2 sont respectivement 178 et 1000. Les rayons gamma reçus dans les deux fenêtres sont comptés séparément et le rapport de ces deux comptages donne une indication de la position du pic par rapport à la limite commune aux deux fenêtres, dans ce cas la graduation 178 de l'échelle horizontale. Pour cette détermination, la période de comptage est fixée à 0,05 mn et la valeur de réglage est incrémentée de 32 unités avant le comptage. L'opération suivante est un branchement conditionnel qui renvoie l'exécution à l'opération précédente, si le rapport des nombres d'impulsions comptés dans la chaîne 1 et dans la chaîne 2 est inférieur à une valeur prédéterminée, dans ce cas la valeur entière 2. Le choix de cette valeur est basé sur l'expérience pratique de l'étalonnage d'un instrument particulier. Lorsqu'elle est atteinte, comme sur la fig. 4b, le front avant du pic coupe une ligne verticale tracée à partir de l'abscisse visée, dans ce cas 178. Si la réponse au test est négative, l'opération précédente est répétée jusqu'à ce que le pic soit convenablement positionné sur l'échelle horizontale. Cependant, avec ce mode de réglage, il peut se faire que le pic dépasse l'abscisse visée. L'opération suivant le branchement conditionnel (après le repère A) consiste donc à incrémenter ou à décrémer la valeur de réglage de la moitié de l'incrément ou du décrémer précédent et à effectuer une nouvelle lecture pour converger vers le rapport choisi. La boucle est exécutée jusqu'à ce que l'incrément soit réduit à une seule unité, ce qui marque la fin de la phase de réglage grossier.

A la sortie de la boucle, on établit pour la chaîne 1, une fenêtre relativement étroite centrée sur l'abscisse visée. Dans l'organigramme (fig. 5), une table donne les limites de discrimination à utiliser pour les trois plages. Par exemple, pour la plage 0-2,0 MeV, les limites inférieure et supérieure de la fenêtre sont respectivement 175 et 181. La largeur de la fenêtre n'est pas déterminante pour la précision, mais résulte d'un compromis entre la résolution et l'efficacité. Une fenêtre très étroite donnera

une meilleure résolution sur la position du pic, mais demandera plus de temps pour accumuler un nombre suffisant d'impulsions. Dans l'exemple choisi, la période de comptage est fixée à 0,10 mn au début de la phase de réglage fin du gain de l'instrument.

La méthode de réglage fin consiste à ajouter ou à retrancher une unité de la valeur de réglage et à effectuer un comptage pendant la période prescrite. On vérifie ensuite si le comptage obtenu est un maximum et, si ce n'est pas le cas, un branchement conditionnel renvoie à l'opération précédente pour corriger à nouveau la valeur de réglage et recommencer le comptage. Sur la fig. 4d, le pic est correctement centré sur l'abscisse 178, alors que sur la fig. 4e, il a légèrement dépassé la valeur désirée. Lorsque le centrage a été obtenu à une unité près, la valeur de réglage est enregistrée dans la mémoire et, s'il n'y a pas d'autre plage à

étalonner, le programme se termine. S'il reste des plages à étalonner, l'exécution reprend au repère B avec une nouvelle phase de réglage grossier suivi d'un réglage fin.

5 Ainsi, à la fin du processus d'étalonnage décrit par l'organigramme, la mémoire 62 (fig. 1) contient une valeur de réglage de la haute tension pour chaque plage d'énergie absolue de l'instrument. Il est évident qu'on peut appliquer la même méthode au réglage du gain des atténuateurs avec ou sans réglage de la tension
10 de fonctionnement du tube photomultiplicateur. Lorsque tous ces paramètres d'étalonnage ont été mémorisés, il est facile de les lire et de les utiliser quand la plage d'énergie absolue correspondante a été sélectionnée. L'instrument est ainsi étalonné indépendamment sur plusieurs plages d'énergie absolue.

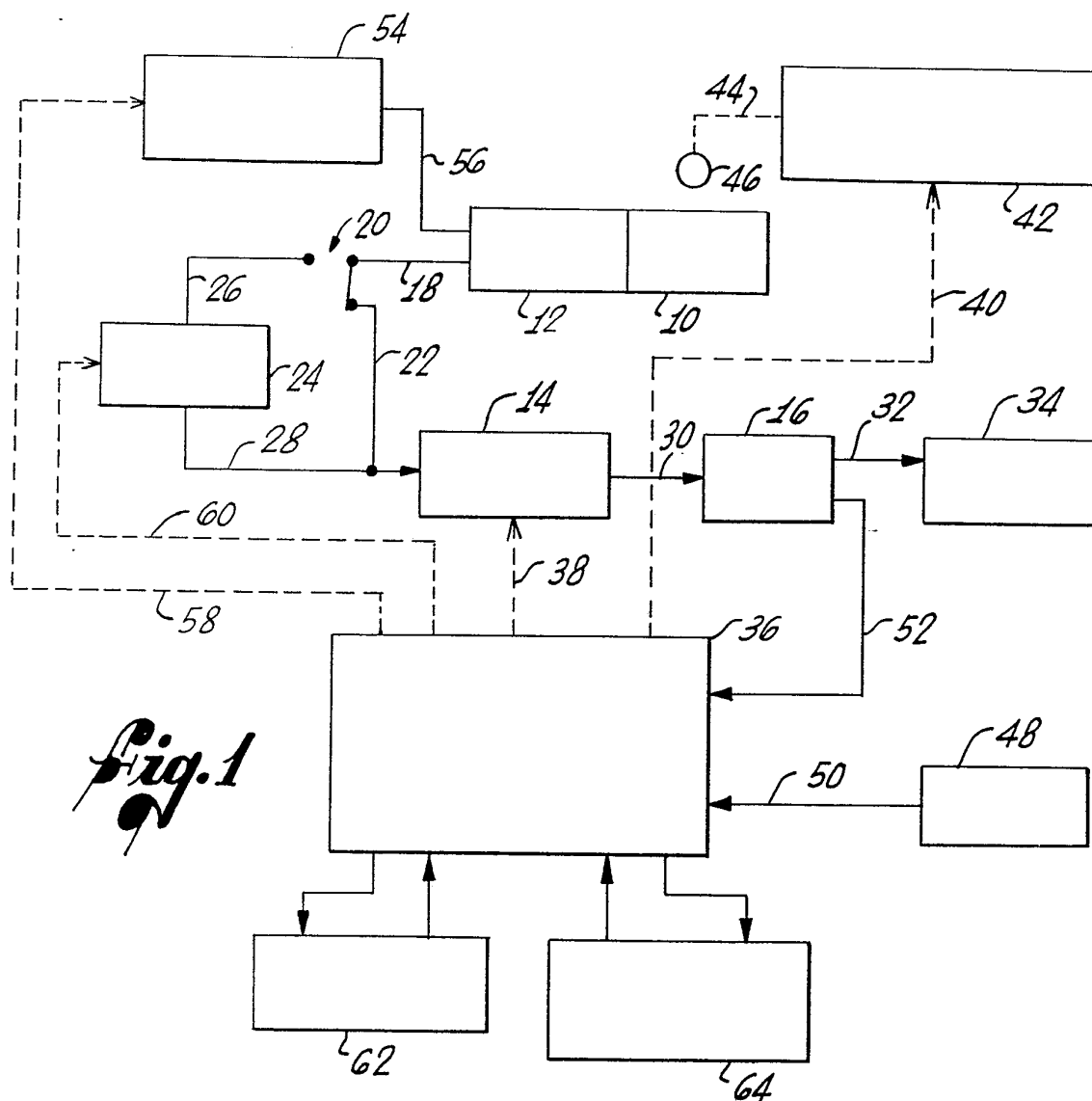


Fig. 1

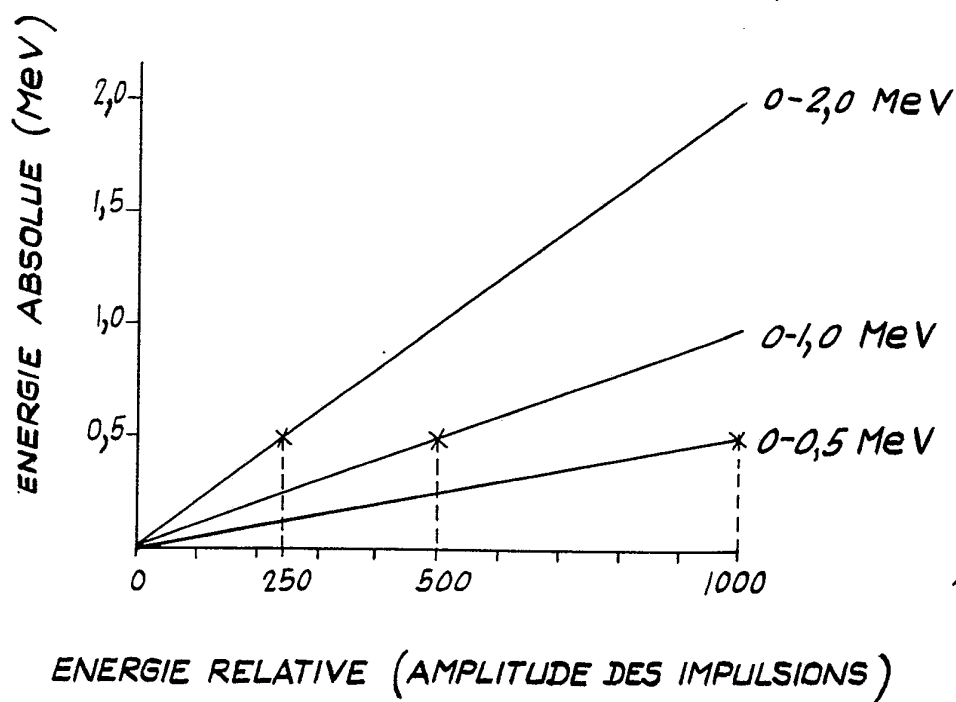


Fig. 2

NOMBRE D'IMPULSIONS
PAR DIVISION DE L'ECHELLE

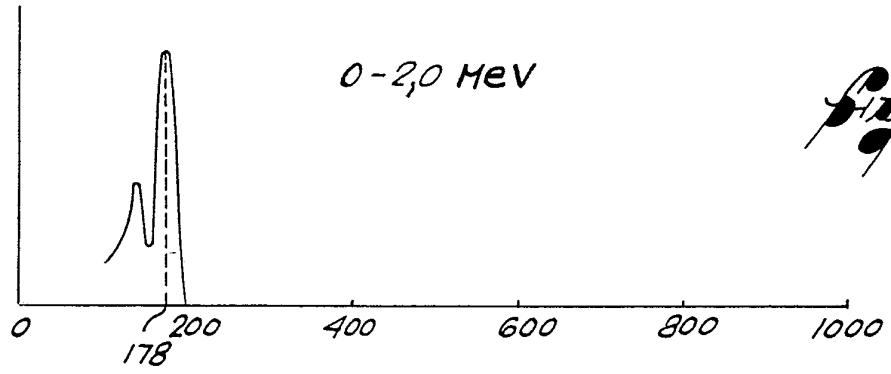


Fig. 3a

NOMBRE D'IMPULSIONS
PAR DIVISION DE L'ECHELLE

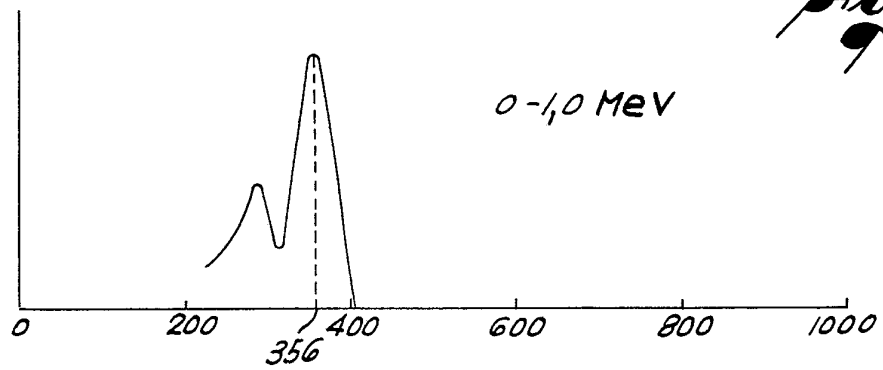


Fig. 3b

NOMBRE D'IMPULSIONS
PAR DIVISION DE L'ECHELLE

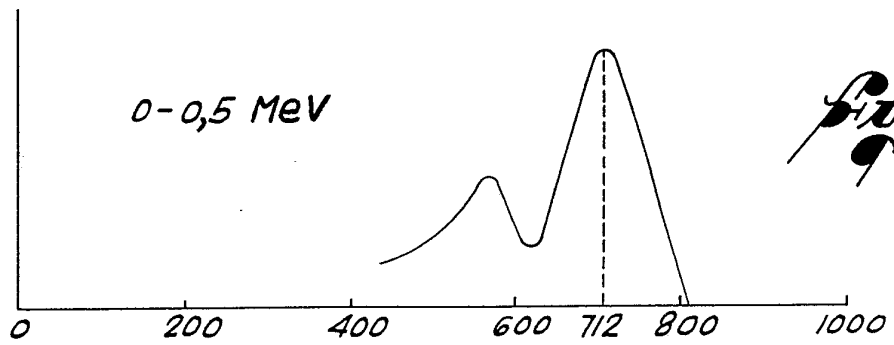


Fig. 3c

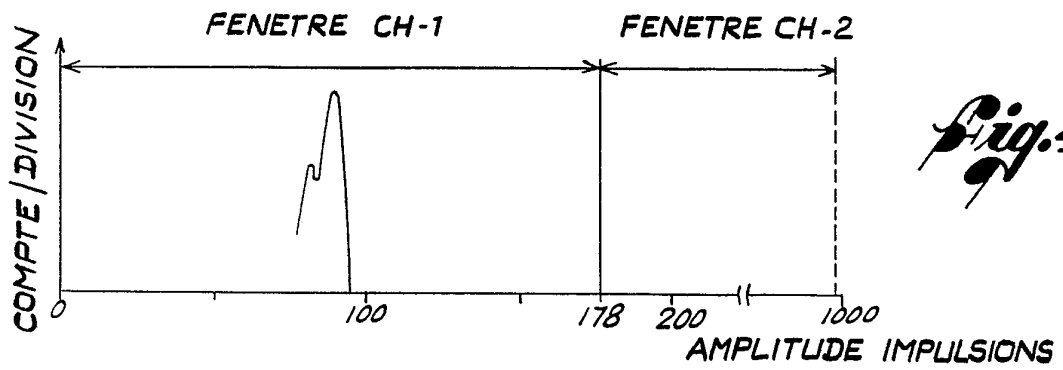


Fig. 4a

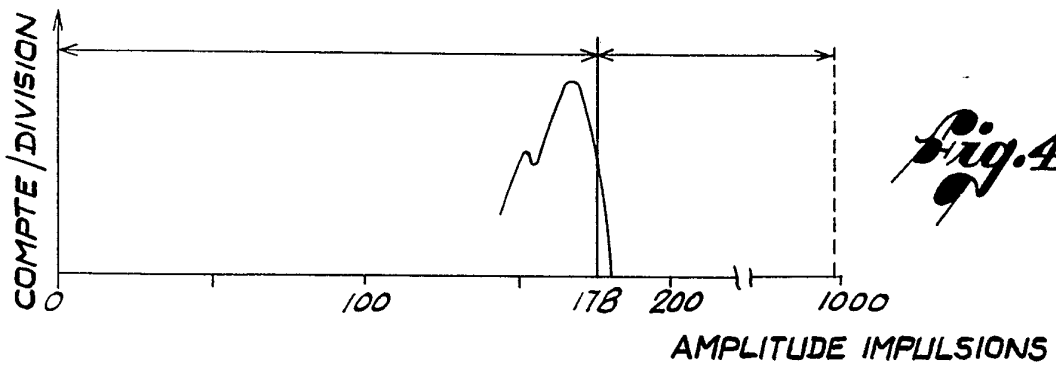


Fig. 4b

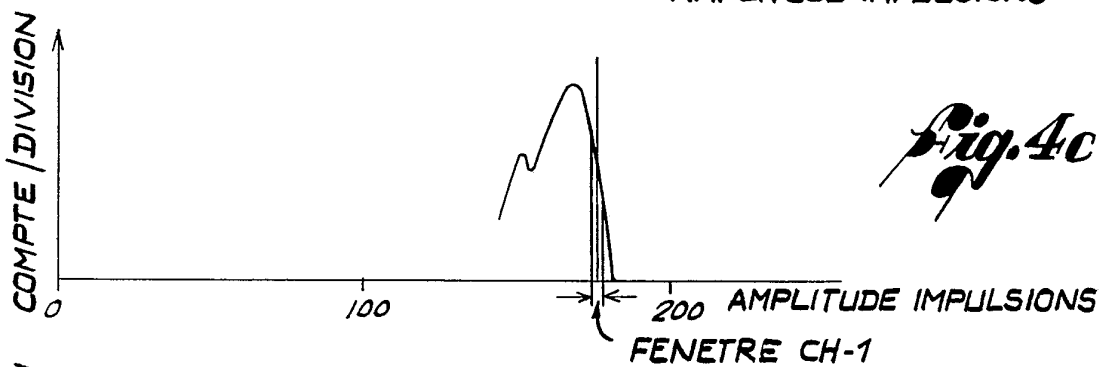


Fig. 4c

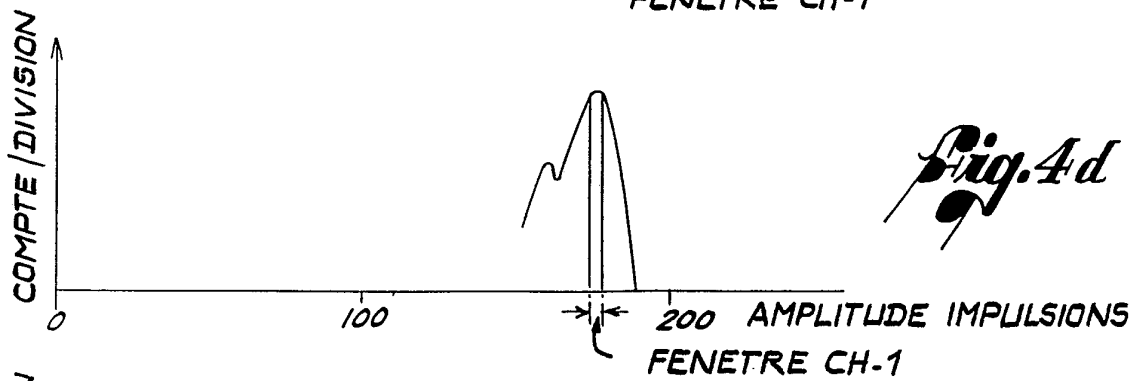


Fig. 4d

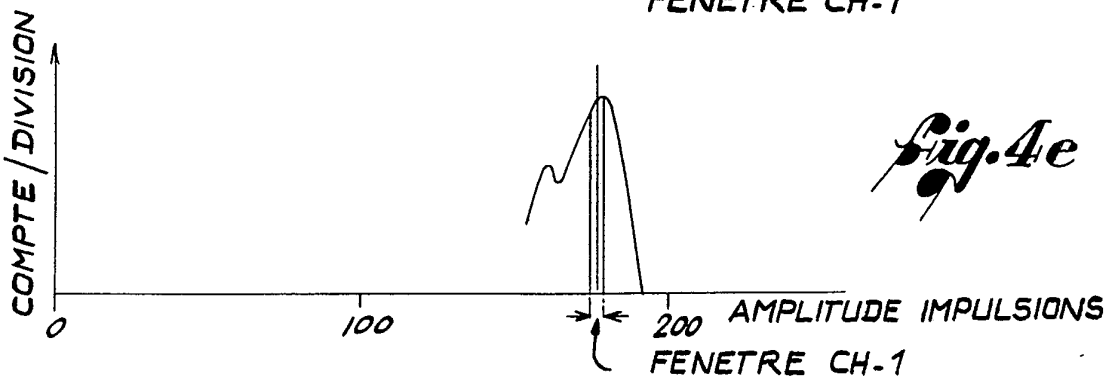
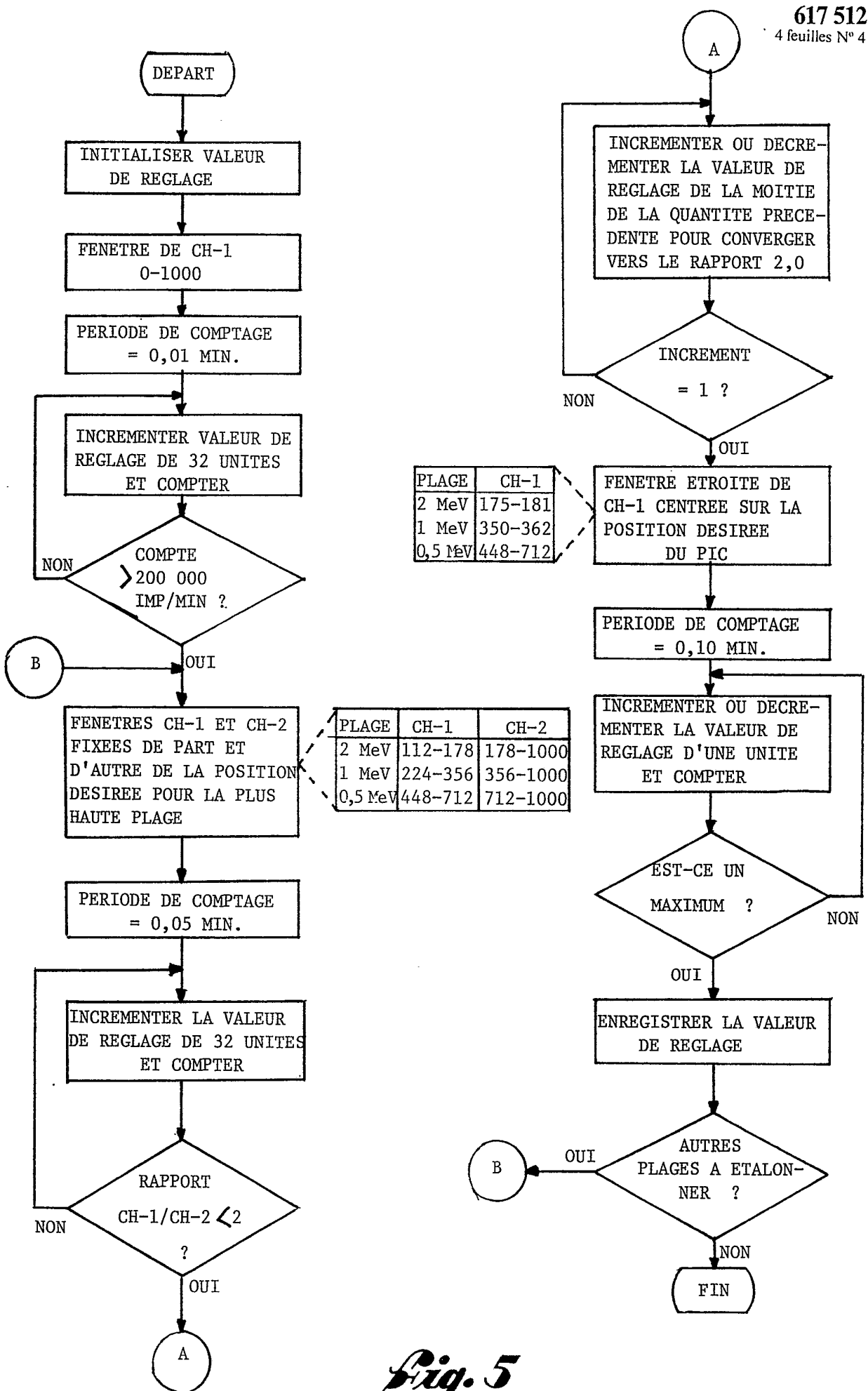


Fig. 4e



PLAGE	CH-1
2 MeV	175-181
1 MeV	350-362
0,5 MeV	448-712

PLAGE	CH-1	CH-2
2 MeV	112-178	178-1000
1 MeV	224-356	356-1000
0,5 MeV	448-712	712-1000

Fig. 5