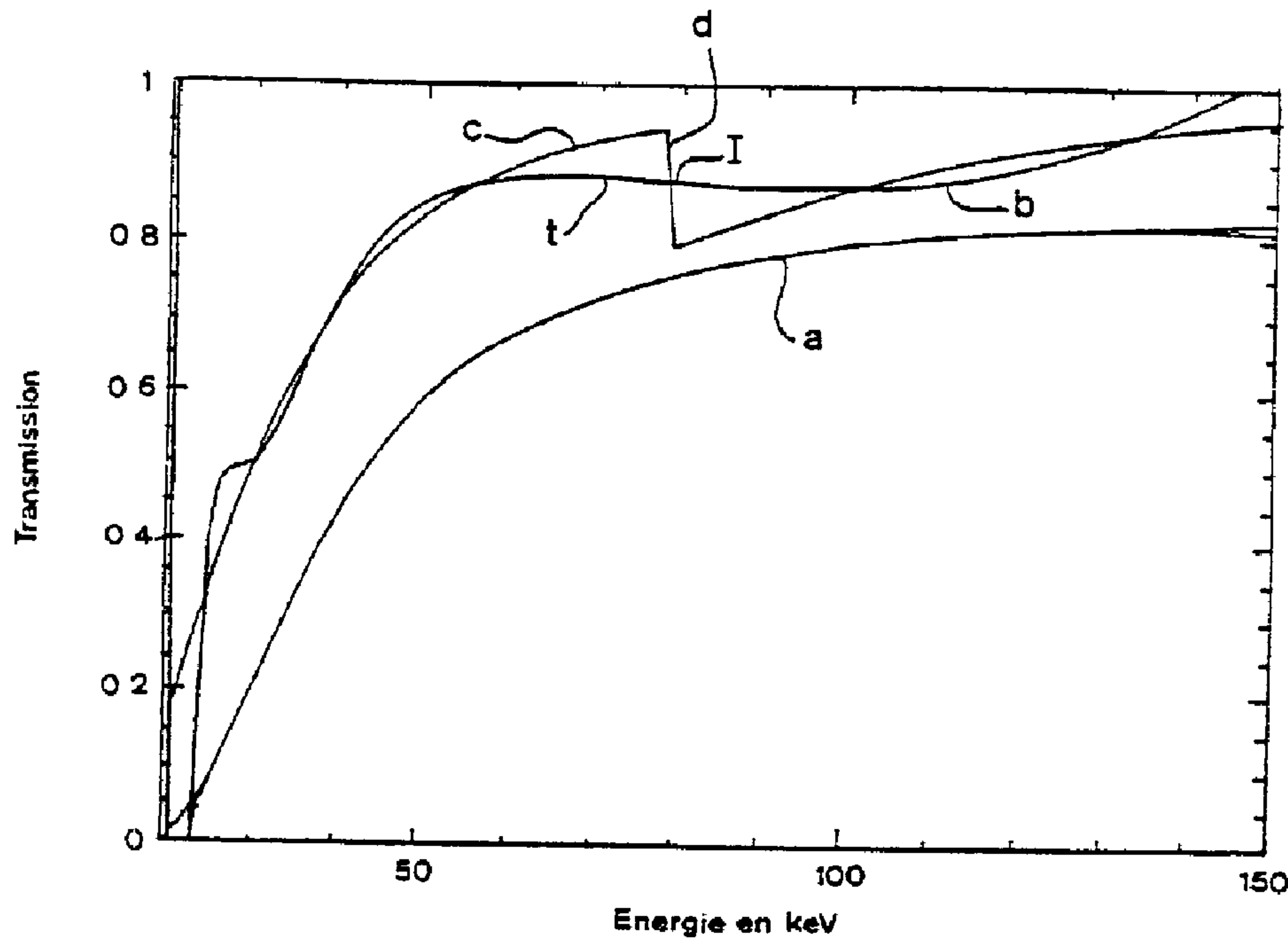




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 1994/07/13
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 1995/02/09
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2005/11/15
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 1996/01/10
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 1994/000878
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 1995/004292
 (30) Priorité/Priority: 1993/07/30 (93/09414) FR

(51) Cl.Int.⁶/Int.Cl.⁶ G01V 5/12
 (72) Inventeurs/Inventors:
 PERION, DIDIER, FR;
 MAITRE-JEAN, SERGE, FR;
 SUNDERMANN, DIETMAR, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
 HEIMANN SYSTEMS, FR
 (74) Agent: SMART & BIGGAR

(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR DETECTER LA PRESENCE D'UN OBJET, COMPORTANT UN MATERIAU
 DONNE, NON ACCESSIBLE A LA VUE
 (54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CARRYING OUT DETECTION OF AT LEAST ONE NON-VISIBLE OBJECT
 CONTAINING A GIVEN MATERIAL



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention se rapporte à un procédé et à un dispositif pour sa mise en oeuvre, destinés à détecter au moins un objet comportant un matériau donné, et non accessible à la vue. Le procédé, qui comprend les étapes consistant en ce que: on irradie l'objet par un faisceau collimaté de rayons X (21) correspondant à une plage d'énergie contenant un seuil de photoionisation; on détecte le faisceau transmis après passage au travers dudit objet (24); est caractérisé en ce qu'en outre: on détermine une fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission des rayons X en fonction de l'énergie; et on recherche sur la courbe représentant ladite fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission, au voisinage de l'énergie correspondant audit seuil de photoionisation, l'existence d'un point d'inflexion, caractéristique de la présence dudit matériau. Cette invention s'applique, par exemple, aux inspections de bagages dans les aéroports.

(57) Abrégé

La présente invention se rapporte à un procédé et à un dispositif pour sa mise en œuvre, destinés à détecter au moins un objet comportant un matériau donné, et non accessible à la vue. Le procédé, qui comprend les étapes consistant en ce que: on irradie l'objet par un faisceau collimaté de rayons X (21) correspondant à une plage d'énergie contenant un seuil de photoionisation; on détecte le faisceau transmis après passage au travers dudit objet (24); est caractérisé en ce qu'en outre: on détermine une fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission des rayons X en fonction de l'énergie; et on recherche sur la courbe représentant ladite fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission, au voisinage de l'énergie correspondant audit seuil de photoionisation, l'existence d'un point d'inflexion, caractéristique de la présence dudit matériau. Cette invention s'applique, par exemple, aux inspections de bagages dans les aéroports.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	GB	Royaume-Uni	MR	Mauritanie
AU	Australie	GE	Géorgie	MW	Malawi
BB	Barbade	GN	Guinée	NE	Niger
BE	Belgique	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BF	Burkina Faso	HU	Hongrie	NO	Norvège
BG	Bulgarie	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BJ	Bénin	IT	Italie	PL	Pologne
BR	Brésil	JP	Japon	PT	Portugal
BY	Bélarus	KE	Kenya	RO	Roumanie
CA	Canada	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CF	République centrafricaine	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KR	République de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KZ	Kazakhstan	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LK	Sri Lanka	SN	Sénégal
CN	Chine	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	LV	Lettonie	TG	Togo
CZ	République tchèque	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DE	Allemagne	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
DK	Danemark	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	US	Etats-Unis d'Amérique
FI	Finlande	MN	Mongolie	UZ	Ouzbékistan
FR	France			VN	Viet Nam
GA	Gabon				

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR DETECTER LA PRESENCE
D'UN OBJET, COMPORTANT UN MATERIAU DONNE,
NON ACCESSIBLE A LA VUE

5

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour sa mise en oeuvre, destinés à détecter un ou plusieurs objet(s), comportant un matériau donné, le ou les objet(s) étant dissimulé(s) à la vue, et par exemple disposé(s) dans un conteneur ou enveloppe.

10

La présente invention est particulièrement applicable à la détection d'objets enfermés dans des bagages soumis à un contrôle ou inspection dans les aéroports ou les ports, avant l'embarquement des passagers. Plus particulièrement encore, l'invention est applicable à la détection de détonateurs utilisés pour déclencher l'explosion de matériaux explosifs. Les détonateurs contiennent des substances très particulières, tels que des sels de plomb par exemple.

15

20

On connaît des procédés et dispositifs de contrôle des bagages dans les aéroports et destinés à donner une image du contenu des bagages afin de détecter la présence éventuelle d'objets non réglementaires ou interdits, tels que armes et explosifs.

25

Les procédés et dispositifs connus fonctionnent sur le principe général suivant. Le conteneur, bagage ou autre, est irradié à l'aide d'un faisceau de rayons X, présentant un spectre d'énergie donné, puis on mesure la quantité de rayons X transmis à travers le conteneur, de façon à former une image du conteneur. La détection d'un objet recherché se fait donc par la reconnaissance visuelle de la forme de l'objet dans l'image formée.

30

Selon une variante de l'art antérieur, le spectre de rayons X incidents est séparé en deux parties, une partie

2166985

pour les basses énergies et une partie pour les énergies plus élevées, de façon à rendre prépondérant un phénomène physique plutôt qu'un autre. Ainsi, l'effet de photoionisation est prépondérant aux basses énergies alors que l'effet Compton est prépondérant aux énergies plus élevées. La comparaison des intensités transmises à travers l'objet examiné des deux parties du spectre permet de séparer les corps de numéro atomique Z inférieur ou égal à 12 des autres corps.

Les méthodes de l'art antérieur présentent des inconvénients. Elles ne fournissent en fait que peu d'informations, en nombre insuffisant pour identifier la présence d'un corps en particulier.

Dans ce contexte, l'invention remédie à ces inconvénients et propose un procédé et un dispositif pour sa mise en oeuvre, permettant de détecter la présence d'un objet comportant un matériau donné, l'objet étant inaccessible à la vue, de manière fiable et rapide, ce qui en permet l'application notamment, par exemple, à la détection d'objets particuliers contenant un matériau donné et disposés dans des bagages, lors du contrôle de ces derniers dans les aéroports.

A cette fin, selon l'invention, le procédé pour détecter la présence d'au moins un matériau donné, contenu dans un objet, ledit matériau présentant un seuil de photoionisation caractéristique, dans lequel :

* on irradie l'objet par un faisceau collimaté de rayons X correspondant à une plage d'énergie contenant ledit seuil de photoionisation ;

* on détecte le faisceau transmis après passage au travers dudit objet ;

caractérisé en ce qu'en outre :

66341-59

* on détermine une fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission des rayons X en fonction de l'énergie; et

* on recherche, sur la courbe représentant ladite
5 fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission, au voisinage de l'énergie correspondant audit seuil de photoionisation, l'existence d'un point d'inflexion caractéristique de la présence dudit matériau.

Aussi, selon l'invention, le dispositif pour
10 détecter la présence d'au moins un matériau donné, disposé dans un objet comprenant: des moyens pour irradier le conteneur par un faisceau collimaté de rayons X ou Gamma correspondant à au moins une bande spectrale d'énergie; des moyens pour détecter le faisceau transmis après passage au
15 travers dudit objet; des moyens pour déterminer une fonction représentative des variations de l'atténuation de la transmission en fonction de l'énergie; caractérisé en ce qu'il comporte, en outre: des moyens pour établir une courbe continue représentative de ladite fonction; des moyens pour
20 rechercher sur ladite courbe au moins un point d'inflexion; et des moyens pour déterminer l'énergie correspondant audit point d'inflexion et, caractéristique dudit matériau détecté.

De préférence, le matériau présente un seuil K de
25 photoionisation compris en 10 keV et 120 keV, et plus particulièrement le matériau présente un numéro atomique Z supérieur à 70.

Selon un exemple préféré de réalisation, le
matériau est constitué de plomb ou tout composé de plomb
30 (sel de plomb,...).

66341-59

Avantageusement, le faisceau comprend au moins deux bandes spectrales sensiblement contiguës, disposées sensiblement de part et d'autre du seuil K d'énergie, caractéristique du matériau recherché.

5 Selon une mise en oeuvre avantageuse de l'invention, la fonction d'atténuation est déterminée de la façon suivante:

10 a) on exprime la fonction de transmission de l'objet comme un développement fini en puissances de la transmission "u" d'une épaisseur de référence d'un matériau de référence, chaque puissance de "u" étant affectée d'un coefficient, les puissances du développement étant égales à un rapport entre les épaisseurs préalablement déterminées du matériau de référence et l'épaisseur de référence;

15 b) on détermine les coefficients du développement:

* en mesurant l'intensité d'un faisceau de mesure pour différents spectres en énergie;

2166985

* pour chacun desdits spectres en énergie, on mesure l'intensité du faisceau transmis par chacune des épaisseurs considérées de matériaux de référence ;

5 * pour chacun desdits spectres en énergie, on mesure l'intensité du faisceau transmise par l'objet ;

* pour chacun desdits spectres en énergie, on décompose l'intensité du faisceau transmis par l'objet en une somme des intensités mesurées à l'étape ci-dessus, relatives au spectre considéré, ces intensités étant affectées des

10 coefficients recherchés ;

* on résoud le système d'équations obtenues à l'étape ci-dessus ;

C) on déduit des étapes A et B, la fonction d'atténuation de l'objet exprimée en fonction de "u".

15 L'invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé tel que décrit ci-dessus.

L'invention sera bien comprise à la lumière de la description qui suit se rapportant à un exemple illustratif et non limitatif, en référence au dessin annexé dans

20 lequel :

- la figure 1 est un schéma synoptique de l'ensemble des étapes du procédé de l'invention ;

- la figure 2 est un schéma d'un dispositif de mise en oeuvre du procédé de l'invention ;

25 - la figure 3 montre l'exemple des bandes spectrales incidentes ;

- la figure 4 montre une représentation schématique des variations de la transmission en fonction de l'énergie pour les épaisseurs de référence ;

30 - la figure 5 montre un exemple de courbes obtenues expérimentalement, donnant les variations de la transmission en fonction de l'énergie ; et

- la figure 6 montre plusieurs courbes expérimentales des variations de l'atténuation en fonction de l'énergie, pour

différents objets contenant des quantités de plomb différentes.

5 la figure 1 montre un schéma synoptique simplifié des étapes principales du procédé de l'invention dans l'application au contrôle et l'inspection de bagages, en vue de détecter la présence de détonateurs pour explosifs, les détonateurs contenant généralement du plomb ou du mercure. L'inspection est effectuée sur les bagages, sous forme de conteneur, valise, enveloppe, sac, ou autre objet similaire susceptible de contenir un grand nombre d'objets et en grande variété, et parmi lesquels est susceptible d'avoir été dissimulé un détonateur contenant du plomb, par exemple. Pour des raisons de commodité, il sera fait référence ci-après à un conteneur, étant entendu que ce vocable recouvre l'ensemble de tous les types de contenants mentionnés précédemment.

10 Dans un premier temps, le conteneur est irradié, bloc 10, par un faisceau de rayons X d'énergie donnée et de préférence sous la forme de faisceaux différents et présentant des bandes spectrales d'énergie jointives, comme expliqué ci-après. Les rayons X sont détectés pour réaliser, dans un premier temps une étape de calibration, bloc 11, et dans un second temps, une étape d'acquisition, bloc 12. A l'issue de la calibration et de l'acquisition, les données sont traitées en vue du calcul de la fonction de transmission du conteneur faisant l'objet du contrôle, bloc 13. Les étapes de calibration, acquisition, et calcul de la fonction de transmission sont regroupées dans un bloc fonctionnel 14, faisant appel à toute technique connue. A titre d'exemple, une telle technique est décrite dans la demande de brevet français au nom de la demanderesse, déposée le 28 mai 1993, sous le n° 93 06 449.

25 30 A la sortie du bloc fonctionnel 14, les données sont traitées dans le bloc 15 permettant de réaliser une

5 courbe continue représentative de la fonction de transmission. Il est bien entendu que la fonction d'atténuation peut être également utilisée, la transmission et l'atténuation étant reliées par une fonction exponentielle, de façon connue en soi.

10 A l'issue du bloc 15, la courbe ainsi obtenue est analysée de façon à détecter la présence d'un point d'inflexion, cette étape étant symbolisée par le bloc fonctionnel en forme de losange et portant la référence 16, à l'issue duquel, en la présence d'un point d'inflexion, le bloc fonctionnel 17 permet d'identifier le matériau par identification de l'énergie correspondant au point d'inflexion sur la courbe, et ensuite permet d'actionner une alarme 18, dans le cas où le matériau détecté est caractéristique d'un détonateur par exemple. Dans le cas d'absence de point d'inflexion sur la courbe, les données sont injectées dans un bloc fonctionnel 19 permettant de visualiser les objets disposés dans le conteneur. En option, une liaison directe peut être effectuée par l'issue du bloc fonctionnel 14 afin de permettre de visualiser sur écran les objets disposés dans le conteneur, à partir des informations résultant de la fonction d'atténuation ou de transmission.

15 On décrit ci-après, en référence à la figure 2, les moyens permettant d'irradier, de détecter en vue de la calibration et de l'acquisition, et de calculer la fonction de transmission. Le dispositif ci-après décrit et représenté sur la figure 2 est du type connu et décrit dans la demande de brevet français mentionnée ci-dessus.

20 Le dispositif comprend une source 20 de rayons X (présentant une gamme d'énergie de 10 à 500 keV), en fonction de la gamme d'énergie souhaitée. La source 20 délivre un faisceau 21 dont l'énergie maximale est variable, sous l'effet de la commande 22 à potentiel variable,

commandée par un système de commande et de traitement tel qu'un ordinateur 23.

5 Un conteneur 24 est disposé sur le trajet du faisceau 21 émis par la source 20. Un détecteur 25 est placé au-delà du conteneur 24 à contrôler, et sur le trajet du faisceau 21. Le détecteur 25 est relié à l'ordinateur de contrôle et de commande 23.

10 Afin d'irradier le conteneur 24 par des faisceaux correspondant à des bandes d'énergie spectrale différentes, jointives et de largeurs déterminées, on prévoit un système de filtre 26 permettant de placer sur le trajet du faisceau 21, entre la source 20 et le conteneur 24, des filtres différents, et plus précisément des filtres passe-haut, de types connus en eux-mêmes. Selon un mode de réalisation
15 préféré et représenté sur la figure 2, le dispositif 26 de filtrage comprend une succession de filtres 26 A disposés sur un disque, de manière à ce que chaque filtre constitue un secteur angulaire donné du disque. Le disque 26 est entraîné en rotation par l'intermédiaire de moyens d'actionnement 27, reliés à la commande à potentiel variable 22. Ainsi, la commande de potentiel variable agissant sur la
20 source 20 et la rotation du disque sont synchronisées, de manière à permettre d'émettre par la source 20 un faisceau d'énergie maximale, tandis que le filtre correspondant est mis en place sur le trajet du faisceau 21 afin d'effectuer une coupure passe-haut et engendrer une limite inférieure en énergie du faisceau. Le faisceau ainsi obtenu, et appelé à traverser le conteneur à contrôler, présente une bande spectrale définie. On réalise ainsi des faisceaux
25 correspondant à des bandes spectrales d'énergie successives, sensiblement jointives ou se chevauchant légèrement, et telles que représentées, à titre d'exemple, sur la figure 3, chaque bande spectrale correspondant à un couple donné potentiel de commande/filtre. A titre d'exemple, le
30

chevauchement est de l'ordre de 5 keV et les plages de bandes spectrales vont de 20 à 40 keV pour les énergies de 80 à 150 keV, et de 10 à 20 keV pour les énergies de 20 à 80 keV.

5 L'étape de calibration, symbolisée par le bloc fonctionnel 11 de la figure 1, est réalisée à l'aide d'une pièce de référence 28 de forme prismatique, à section triangulaire rectangle, et dont l'hypothénuse présente des marches d'escalier. Ainsi, dans le plan correspondant à
10 l'hypothénuse, la pièce 28 présente des épaisseurs de matériaux différentes et successivement croissantes. La pièce 28 est constituée d'un matériau unique, par exemple du Duralumin (mélange composé de 95 % d'aluminium, 4,5 % de cuivre et 0,5 % de manganèse), et dont le nombre atomique Z effectif est d'environ 13,5. On pourrait également choisir
15 un matériau dont le nombre atomique Z effectif est compris entre 5 et 26, pour un faisceau émis de rayons X.

On choisit une marche de la pièce de référence 28, à titre d'épaisseur de référence, ladite épaisseur de
20 référence correspondant à la seconde marche dans l'exemple représenté, et portant la référence 28a. L'épaisseur de référence pour le Duralumin est comprise entre 1 et 5 mm, et par exemple égale à 4 mm. Dans le cas de l'acier, on choisit
25 l'épaisseur de référence entre 0,5 et 2 cm, et par exemple égale à 1 cm.

Pour un nombre N d'épaisseurs de la pièce de référence 28, on fait appel à N + 1 spectres différents
(figure 3). A titre d'exemple, pour 10 spectres différents, la pièce 28 comporte alors 9 marches d'escalier donc 9
30 épaisseurs différentes.

La pièce de référence 28 peut être déplacée en translation parallèlement à elle-même selon une direction symbolisée par la droite 29 de manière à être placée sur le trajet du faisceau 21 ou en dehors dudit faisceau. Le

déplacement en translation de la pièce de référence 28 est effectué de manière connue et non représentée.

La figure 4 montre un exemple schématique de courbes de transmission, en fonction de l'énergie, d'une pièce 28 en Duralumin, et pour chacune des épaisseurs données, de 1 mm à 10 mm.

On décrit maintenant l'étape pour déterminer la fonction d'atténuation ou de transmission, correspondant au bloc fonctionnel 14.

Lors d'une étape préliminaire, on effectue des mesures de calibration consistant à mesurer l'intensité transmise par les différentes épaisseurs du matériau de référence soumises au faisceau de mesure 21. Dans un premier temps, on mesure cette intensité transmise pour une épaisseur nulle, c'est-à-dire sans que la pièce 28 soit interposée dans le trajet du faisceau. Le détecteur 20 mesure l'intensité du faisceau de mesure pour chacun des spectres et ces mesures sont mises en mémoire par le système de traitement 23.

Ensuite, on effectue des mesures similaires, en plaçant successivement sur le trajet du faisceau, les différentes épaisseurs de la pièce 28 de référence. Une fois ces mesures mises en mémoire par le système 23, la pièce 28 est retirée du trajet du faisceau.

L'étape de calibration est alors terminée.

Vient ensuite l'étape d'acquisition.

Le conteneur 24 à contrôler est alors placé sur le trajet du faisceau et ainsi soumis à chacun des spectres. L'intensité transmise par le conteneur est mesurée par le détecteur 20, puis mise en mémoire, pour chaque spectre.

Le système 23 déduit une formule analytique de la transmission de l'objet au point traversé par le faisceau, exprimée en fonction d'un paramètre "u" qui est la transmission d'une épaisseur donnée d'un matériau de

2166985

référence, en Duralumin par exemple, comme décrit dans la description qui suit, se rapportant aux rayons X. La transposition au cas des rayons Gamma et de l'acier est immédiate. Pour épaisseur de référence, on choisit l'épaisseur de la seconde marche de la pièce bloc 28.

"u" est donc égal à $e^{-att(E) \cdot 2,7 \cdot 0,4}$ où $att(E)$ est l'atténuation massique ; 2,7 correspond à la densité du Duralumin exprimée en g/cm^3 ; 0,4 correspond à l'épaisseur de référence choisie égale à 4 mm et exprimée en cm.

Si on définit l'indice j comme étant le numéro du spectre auquel est soumis le conteneur, j = 1 correspondant au spectre d'énergie plus basse, alors l'intensité D_j transmise par le conteneur s'exprime comme suit :

$$D_j = \int I_j(E) T_r(E) dE \quad (0)$$

ou

$$D_j = \int I_j(E) e^{-att(E)} dE \quad (1)$$

où $I_j(E)$ est l'intensité du j^{ème} spectre en énergie, fonction de l'énergie E, $T_r(E)$ et $att(E)$ sont respectivement la fonction de transmission et d'atténuation exprimées ici en fonction de E.

En effectuant le changement de variable, faisant apparaître le paramètre "u" associé à l'épaisseur de référence e_p (en cm) du matériau choisi de densité ρ (en g/cm^3)

$$"u" = e^{-att(E) \cdot e_p \cdot \rho}$$

$$D_j \text{ s'écrit : } D_j = \int I'_j(u) e^{-att'(u)} du \quad (2)$$

où $I'_j(u)$ est l'intensité du j^{ème} spectre exprimée en fonction de "u" et $att'(u)$ est la fonction d'atténuation recherchée.

La fonction de transmission de l'objet est exprimée en fonction du paramètre "u", sur la base de l'approximation suivante : la fonction de transmission de l'objet est

exprimée comme un développement polynomial fini en puissances du paramètre "u" ; soit :

$$e^{-att'(u)} = \sum_{i=0}^N a_i u^{f(i)} \quad (3)$$

i est un indice qui varie de 0 à N. Le nombre de termes du développement (N + 1) est inférieur ou égal au nombre de spectres en énergies différentes utilisé pour les mesures de transmission ; il est par conséquent égal au nombre N d'épaisseurs de matériau de référence utilisées pour la calibration plus un. De ce fait, chaque indice i correspond à un numéro de marche de la pièce 28, l'indice i = 0 correspondant à une épaisseur nulle, c'est-à-dire que la pièce 28 n'est pas dans le trajet du faisceau.

Pour chaque valeur de i, f (i), puissance du développement, représente un rapport entre une des épaisseurs du matériau de référence et l'épaisseur de référence, le rapport étant de préférence tel que les puissances f (i) augmentées de 1/2 forment une suite géométrique de raison égale à une racine de trois, ce qui s'exprime :

$$f(i) + 1/2 = a^i (f(0) + 1/2) \quad (4)$$

De plus, on choisit f (0) = 0, puisque i = 0 correspond au trajet libre du faisceau et donc à une épaisseur nulle :

$$f(i) = (a^i - 1)/2 \quad (5)$$

De cette manière, si la seconde marche 28a est choisie comme épaisseur de référence, on a :

$$f(2) = 1 \text{ et par conséquent } a = \sqrt{3}$$

On montre que l'intensité transmise par l'objet pour le spectre j peut se décomposer comme suit :

$$D_j = \sum_{i=0}^N a_i C_{ji} \quad (6)$$

2166985

les termes C_{ji} correspondent pour chaque spectre j à l'intensité transmise par les différentes épaisseurs de matériau de référence, $i = 0$ correspondant à l'épaisseur nulle (la pièce 28 étant hors du trajet du faisceau).

Dans l'égalité (6), les termes D_j et C_{ji} sont déterminés par mesures, les coefficients a_i sont inconnus. Le nombre d'épaisseurs de matériau de référence (en comptant en plus l'épaisseur nulle) peut être choisi inférieur ou égal au nombre de spectres pour que l'on puisse déterminer les coefficients a_i . Dans l'exemple décrit, on réalise dix spectres différents en énergie, la pièce 28 comporte 9 marches auxquelles il faut adjoindre les mesures supplémentaires effectuées lorsque la pièce 18 est hors de trajet du faisceau.

A l'aide des valeurs mises en mémoire lors de la calibration et des mesures d'acquisition, le système 23 détermine les a_i . Ceci peut être réalisé par toute méthode connue, par exemple par la méthode des moindres carrés.

Une fois les coefficients a_i déterminés, le système 23 les remplace par leur valeur dans l'équation (3) et calcule ainsi la fonction de transmission du conteneur en fonction du paramètre "u".

Une fois la fonction de transmission déterminée, en fonction de l'énergie, l'étape suivante consiste à suivre l'évolution de cette fonction pour en rechercher une variation correspondant à un point d'inflexion de la courbe représentative de la fonction. La détermination de cette courbe, qui est continue, est symbolisée par le bloc fonctionnel 15 de la figure 1. La figure 5 montre trois courbes, à savoir une première courbe a, représentative de la réponse en transmission de la pièce de référence 28, une seconde courbe b, calculée mathématiquement comme indiqué précédemment et correspondant à la fonction de transmission

d'un corps en platine et une troisième courbe *c*, correspondant à la transmission réelle d'un objet contenant un matériau spécifique, à savoir du platine. Cette courbe pourrait être obtenue expérimentalement en mesurant l'intensité transmise à travers le conteneur, en fonction de l'énergie des rayons X, à partir d'un faisceau de rayons X monoénergétique et en augmentant pas à pas l'énergie des rayons X incidents.

La courbe de référence "*a*" présente une première partie ascendante, suivie d'un plateau. La courbe "*b*" calculée, représentative de l'objet contenant du platine, présente une partie également ascendante, à des niveaux de transmission supérieurs à ceux de la courbe de référence "*a*", suivie d'un plateau légèrement descendant et suivie d'une troisième partie légèrement ascendante. La partie médiane de la courbe "*b*", correspondant au plateau descendant, comprend un point d'inflexion *I*, correspondant mathématiquement à un changement de courbure et s'exprimant par l'annulation de la dérivée seconde de la fonction représentative de la courbe "*b*". On a représenté par "*t*" la tangente au point *I* à la courbe "*b*".

La courbe "*c*" comporte également une partie ascendante correspondant sensiblement à la partie ascendante de la courbe "*b*". La courbe "*c*" comporte dans la partie correspondant à la partie médiane où se trouve le point d'inflexion *I* de la courbe "*b*", un décrochement ou discontinuité "*d*" situé à proximité du point d'inflexion *I* de la courbe "*b*". La troisième partie de la courbe "*c*" présente une allure sensiblement suivant la troisième partie correspondante de la courbe "*b*". Le segment "*d*" de la courbe "*c*" traduit la chute brusque de transmission du corps en platine, le phénomène correspondant au seuil *K* de photoionisation du platine et apparaissant à une énergie donnée de 78,4 keV. Pour des valeurs inférieures à ce seuil,

par exemple entre 65 et 78 keV, la courbe "c" est située au-dessus de la courbe "b".

Le procédé de l'invention, une fois établie la courbe représentative de l'objet ou du conteneur sous contrôle, comprend une étape de recherche d'un point d'inflexion, symbolisé par le bloc fonctionnel 16 (figure 1). La recherche d'un point d'inflexion peut être effectuée par toute méthode mathématique connue telle que, par exemple, la recherche de l'annulation de la dérivée seconde.

Dans l'hypothèse où un point d'inflexion est détecté, le procédé de l'invention procède alors à la détermination de la valeur de l'énergie correspondant audit point d'inflexion, et correspondant donc au seuil K de photoionisation du matériau, ayant provoqué l'apparition du phénomène sur la courbe de mesure "b". Le seuil K de photoionisation est caractéristique du matériau recherché. Cette étape est symbolisée par le bloc fonctionnel 17 sur la figure 1. Le procédé procède alors à l'actionnement d'une alarme en vue d'alerter les opérateurs de la présence d'un corps ou objet interdit, tel qu'un détonateur d'explosif par exemple, dans le cas de la détection du plomb. Dans cet exemple particulier, le seuil K est de 88 keV.

L'invention est, bien entendu, applicable à la détection d'autres corps et de préférence de matériaux dits lourds, c'est-à-dire de corps présentant un numéro atomique Z supérieur à 70. A titre d'exemple, le mercure (83 keV), l'or (80,7 keV), tungstène (69,5keV).

De préférence, les bandes spectrales sont choisies de manière qu'au moins deux bandes spectrales soient disposées de part et d'autre du seuil K d'énergie du matériau recherché, et soient jointives ou se chevauchant légèrement au niveau dudit seuil.

En référence à la figure 6, on a représenté différentes courbes correspondant chacune à la mesure de la

transmission calculée, en fonction de l'énergie, d'un objet composé de PVC (polychlorure de vinyle), et de plomb, pour des pourcentages en plomb variant de 100 % à 0,8 %, les courbes présentant respectivement les références A, B, C et D. Ces courbes présentent des points d'inflexion respectivement I_1 , I_2 , I_3 et I_4 , dont l'abscisse commune au voisinage de 88 keV correspond au seuil K de photoionisation du plomb. On a représenté sur la figure 6 une autre série de courbes, une pour chacune des courbes A à D, et correspondant à la transmission réelle d'un corps en plomb, pour la quantité correspondant à l'exemple. Ces courbes de transmission réelle peuvent être obtenues expérimentalement, comme indiqué précédemment pour la courbe c de la figure 5. A la courbe A, correspond la courbe E représentative de la transmission d'un objet comportant une masse de plomb correspondant (c'est-à-dire $0,05 \text{ g/cm}^2$). A la courbe B correspond une courbe F. A la courbe C correspond une courbe G. A la courbe D correspond une courbe H. Les courbes E, F, G et H, sont déterminées mathématiquement et comportent une discontinuité sous la forme d'un segment subvertical, passant par les points d'inflexion respectifs I_1 à I_4 . on a représenté également sur chaque courbe A à D les tangentes t_a , t_b , t_c et t_d , auxdites courbes, auxdits points d'inflexion respectifs I_1 à I_4 .

On constate que plus la teneur en plomb augmente dans la masse totale de l'objet soumis à irradiation, plus la discontinuité ou le "saut" des courbes théoriques est important. Ceci se traduit par une augmentation de la pente (en valeur absolue) de la tangente correspondante, en chacun des points d'inflexion. En d'autres termes, plus la teneur en plomb, matériau recherché, est importante, plus le phénomène d'inflexion est marqué, et plus il est facile à détecter.

Bien que l'invention ait été décrite dans l'application à la détection de détonateurs d'explosifs, contenant du plomb, dans le cadre de contrôle de bagages, l'invention est susceptible d'être appliquée à d'autres domaines, tels que la détection de tout autre corps que du plomb.

En résumé, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations décrits et représentés mais englobe toute variante telle que mentionnée dans les revendications ci-après.

REVENDICATIONS

5 1 - Procédé pour détecter la présence d'au moins un matériau donné contenu dans un objet, ledit matériau présentant un seuil de photoionisation caractéristique, dans lequel :

* on irradie l'objet par un faisceau collimaté de rayons X correspondant à une plage d'énergie contenant ledit seuil de photoionisation ;

10 * on détecte le faisceau transmis après passage au travers dudit objet ;

caractérisé en ce qu'en outre :

15 * on détermine une fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission des rayons X en fonction de l'énergie ; et

20 * on recherche sur la courbe représentant ladite fonction continue représentative de l'atténuation ou de la transmission, au voisinage de l'énergie correspondant audit seuil de photoionisation, l'existence d'un point d'inflexion, caractéristique de la présence dudit matériau.

25 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit matériau présente un seuil K de photoionisation compris entre 10 keV et 120 keV.

30 3 - Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit matériau présente un nombre atomique Z supérieur à 70.

4 - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le matériau comprend du plomb.

5 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la détermination de la fonction de transmission ou atténuation inclut les étapes suivantes :

2166985

5 A) Exprimer la fonction de transmission de l'objet comme un développement fini en puissances de la transmission "u" d'une épaisseur de référence d'un matériau de référence, chaque puissance de "u" étant affectée d'un coefficient, les puissances du développement étant égales à un rapport entre les épaisseurs préalablement déterminées du matériau de référence et l'épaisseur de référence ;

10 B) Déterminer les coefficients du développement :

a. en mesurant l'intensité du faisceau de mesure pour différents spectres en énergie,

15 b. pour chacun desdits spectres en énergie, en mesurant l'intensité du faisceau transmise par chacune des épaisseurs considérées de matériau de référence,

c. pour chacun desdits spectres en énergie, en mesurant l'intensité du faisceau transmise par l'objet,

20 d. pour chacun desdits spectres en énergie, en décomposant l'intensité du faisceau transmis par l'objet en une somme des intensités mesurées à l'étape B) b. relative au spectre considéré, ces intensités étant affectées des coefficients recherchés,

25 e; en résolvant le système d'équation obtenue à l'étape B) d.

30 C) Déduire des étapes A et B, la fonction de transmission ou atténuation de l'objet, exprimée en fonction de "u".

6 - Application du procédé selon les revendications 1 et 4, à la détection de détonateurs d'explosifs.

7 - Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits spectres d'énergie sont tels qu'ils se recouvrent

2166985

partiellement, et sont en nombre égaux au nombre d'épaisseurs de référence, augmenté de 1.

8 - Dispositif pour détecter la présence d'au moins un matériau donné, disposé dans un objet comprenant :

* des moyens pour irradier le conteneur par un faisceau collimaté de rayons X ou Gamma correspondant à au moins une bande spectrale d'énergie ;

* des moyens pour détecter le faisceau transmis après passage au travers dudit objet ;

* des moyens pour déterminer une fonction représentative des variations de l'atténuation de la transmission en fonction de l'énergie ;

caractérisé en ce qu'il comporte, en outre :

* des moyens pour établir une courbe continue représentative de ladite fonction ;

* des moyens pour rechercher sur ladite courbe au moins un point d'inflexion ; et

* des moyens pour déterminer l'énergie correspondant audit point d'inflexion et, caractéristique dudit matériau détecté.

9 - Dispositif selon la revendication 8, pour la détection, caractérisé en ce que ledit matériau est du plomb et ledit objet est un détonateur d'explosif.

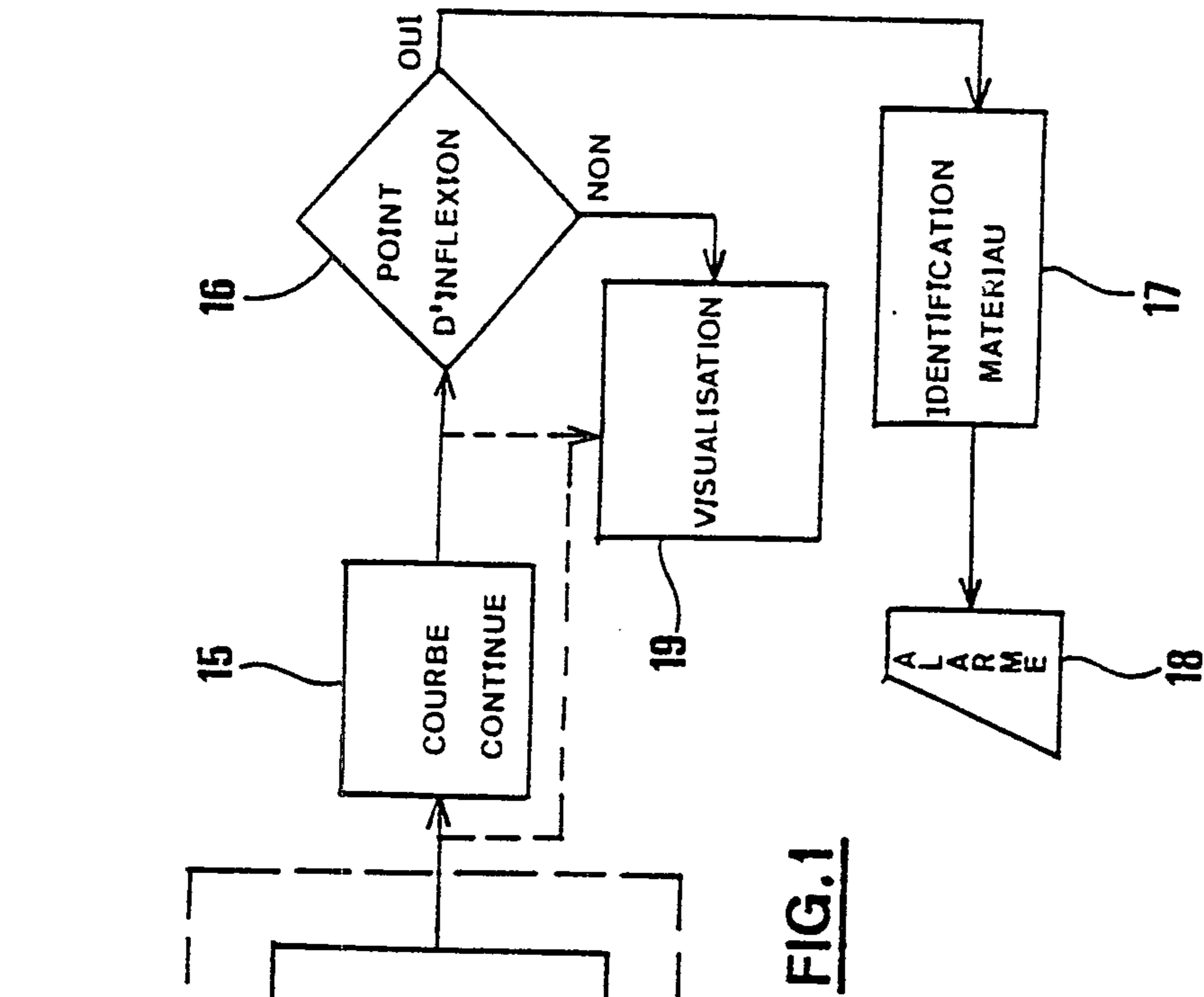


FIG. 1

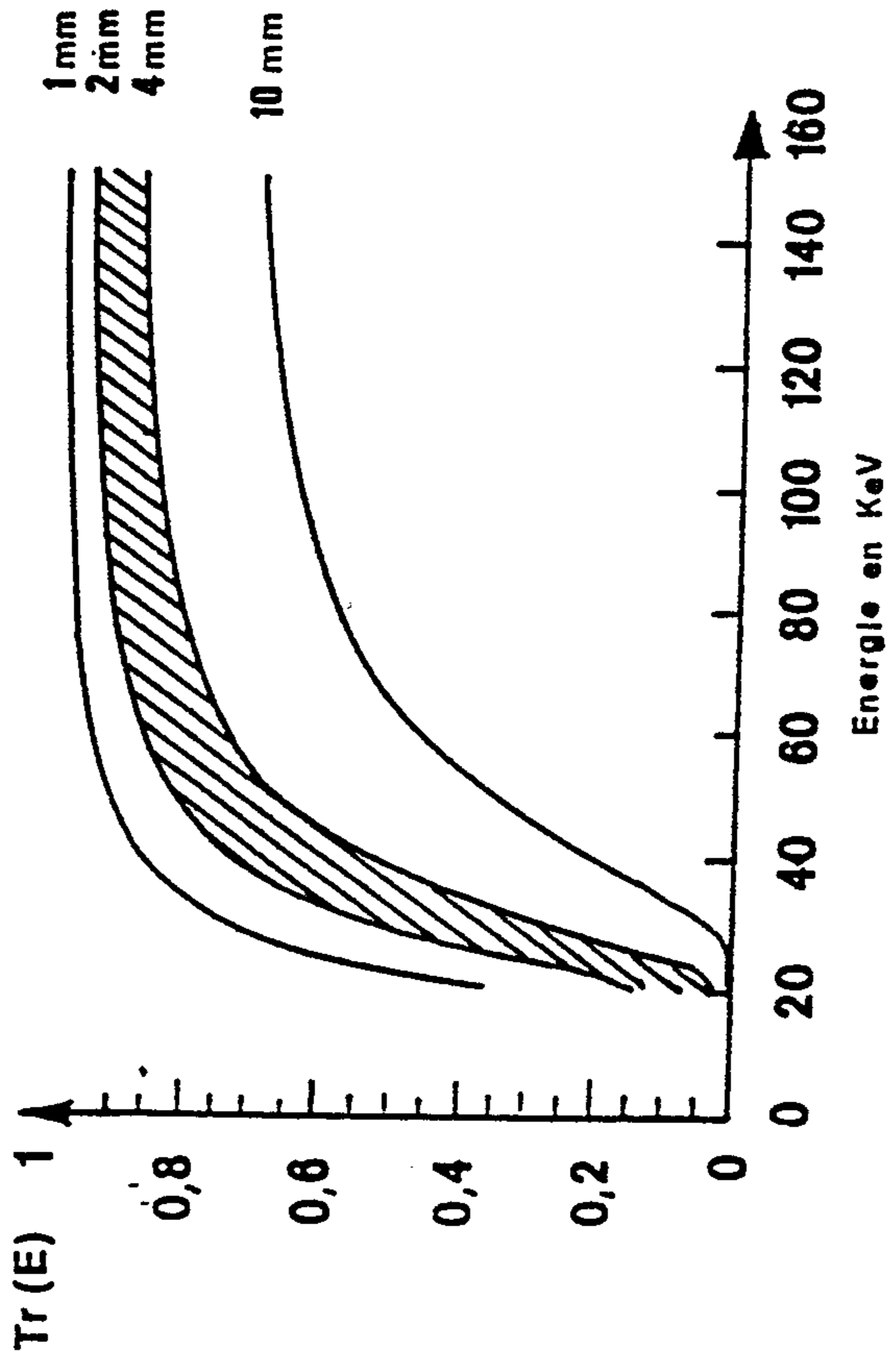


FIG. 4

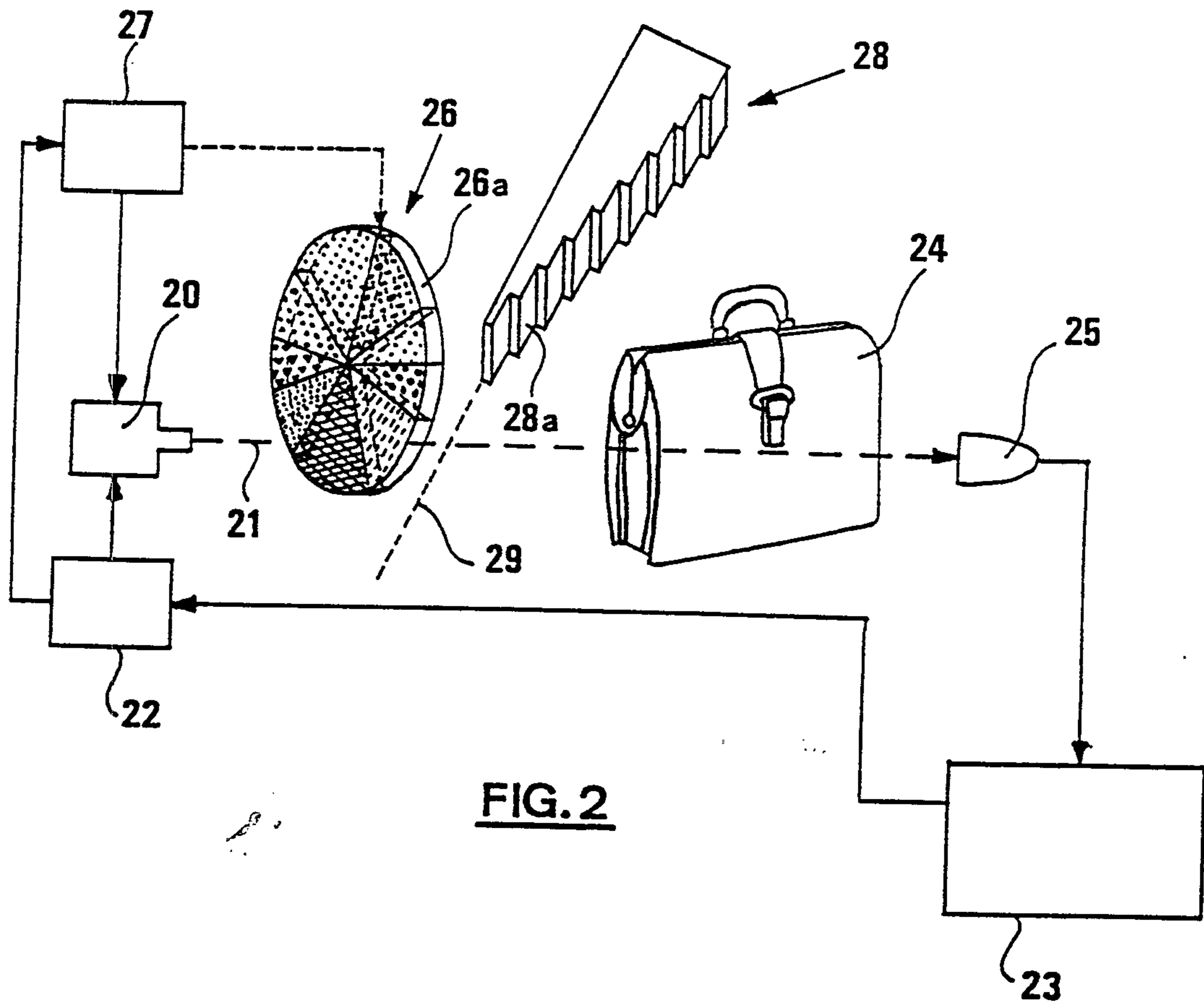


FIG. 2

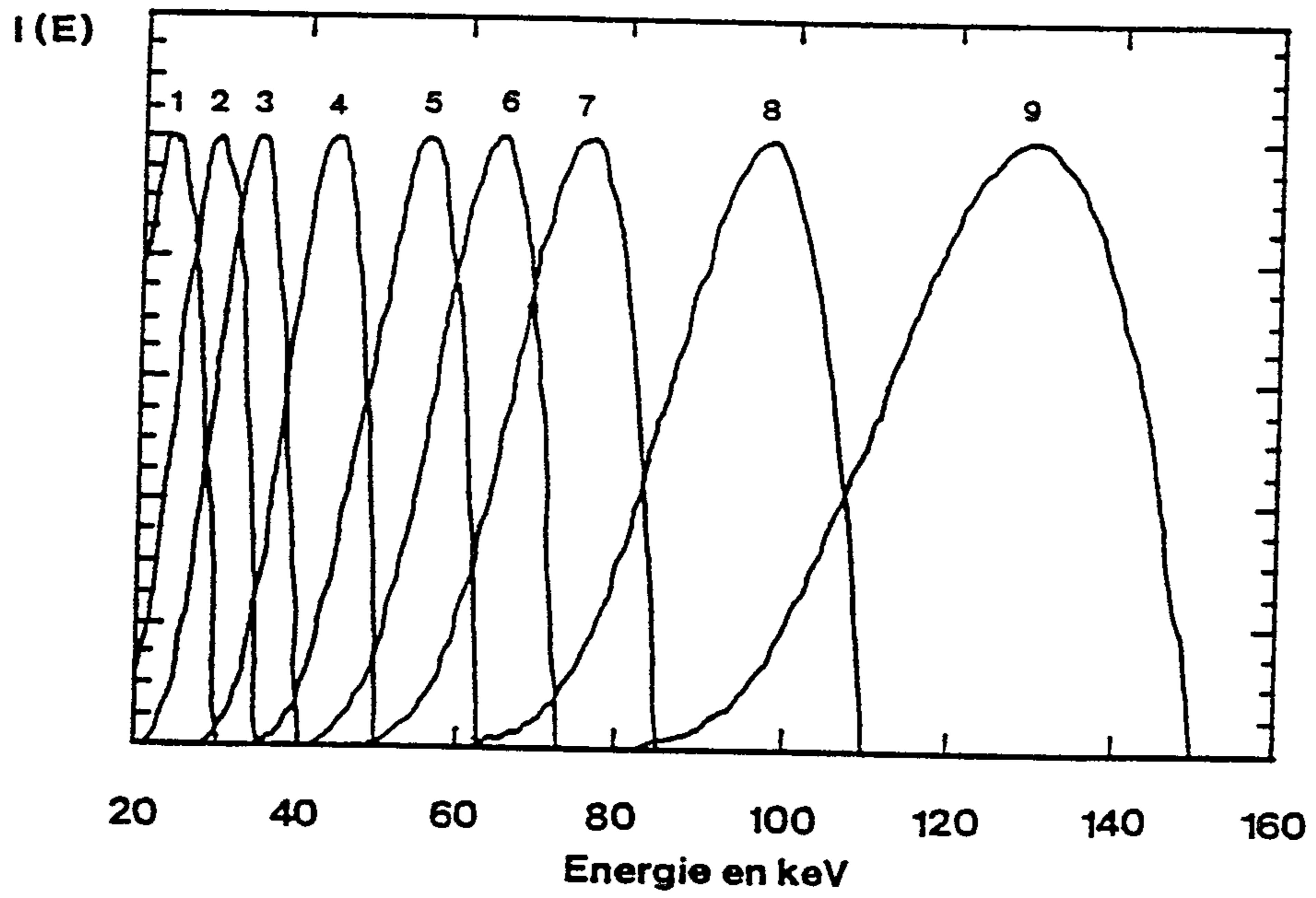


FIG. 3

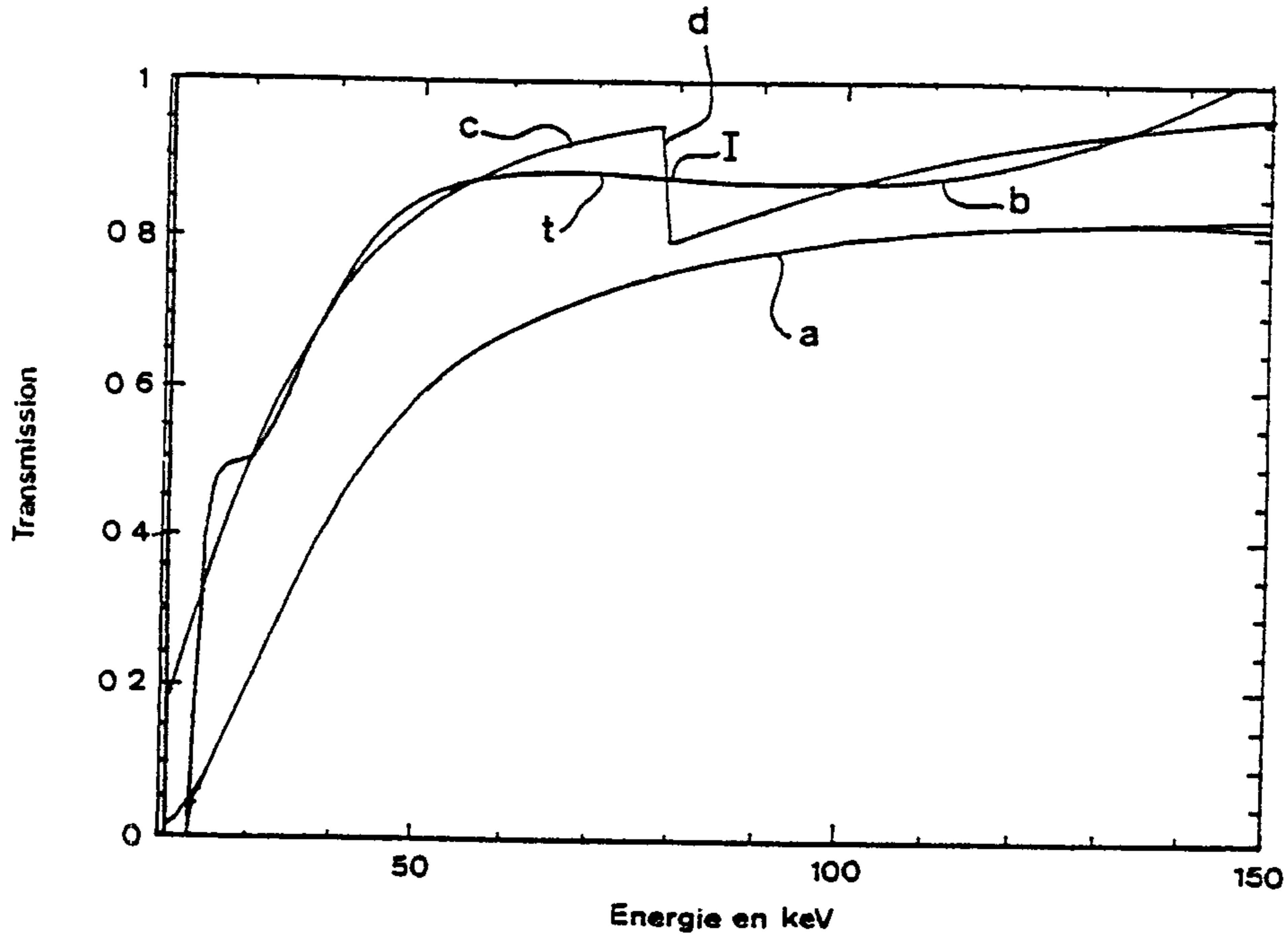


FIG. 5

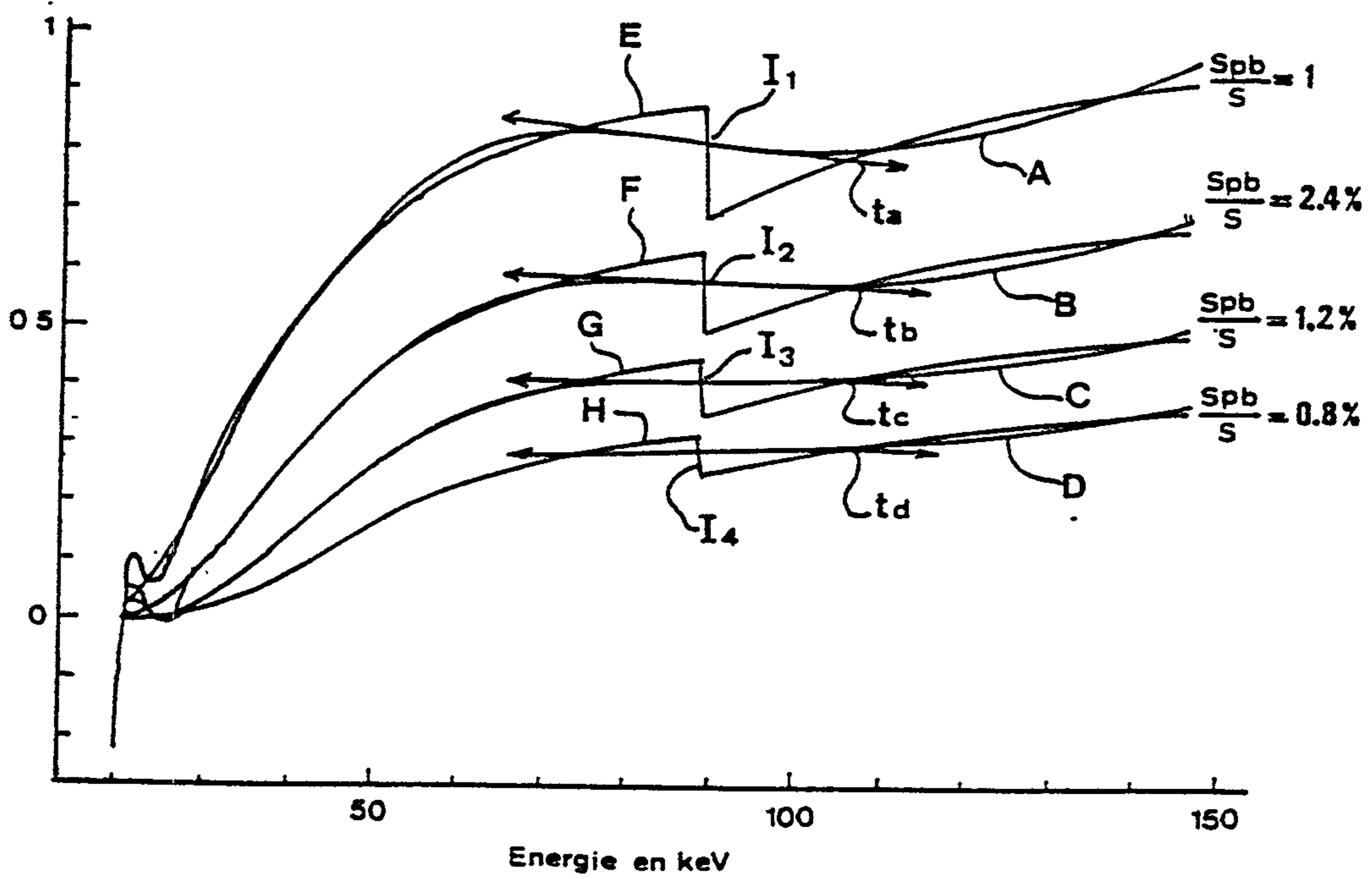


FIG. 6

