

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
18 mai 2007 (18.05.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/054575 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01J 47/02 (2006.01) **G01T 1/185** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2006/068402

(22) Date de dépôt international :
13 novembre 2006 (13.11.2006)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
05/53446 14 novembre 2005 (14.11.2005) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; 25,
rue Leblanc, Immeuble "le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
AMIOT, Marie-Noelle [FR/FR]; 425, chemin
des Aulnettes, F-91640 Briis Sous Forges (FR).
AUBINEAU-LANIECE, Isabelle [FR/FR]; 12, allée
des Bleuets, F-91190 Saint-aubin (FR).

(74) Mandataire : **POULIN, Gérard**; Brevatome, 3, rue du
Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP,
KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT,
RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrévia-
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de
la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD OF DETERMINING AN IONIZATION CHAMBER CALIBRATION COEFFICIENT

(54) Titre : PROCEDE DE DÉTERMINATION DE COEFFICIENT D'ETALONNAGE DE CHAMBRE D'IONISATION

(57) Abstract: The invention relates to a method of determining two adjustment factors associated with the electron emission and photon emission of an ionization chamber using given matrix and conditioning standard radioactive sources, the adjustment factor making it possible to calculate the calibration coefficient for all radioactive sources placed in an ionization chamber of the same type as that used for determining the adjustment factor. Application: measurement of the activity of radionuclides.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de détermination de deux facteurs d'ajustement associés aux émissions électronique et photonique de chambre d'ionisation à l'aide de sources radioactives étalon de matrice et de conditionnement donnés, le facteur d'ajustement permettant le calcul du coefficient d'étalonnage de toutes sources radioactives placées dans une chambre d'ionisation de même type que celle utilisée pour la détermination du facteur d'ajustement. Application à la mesure de l'activité des radionucléides.



WO 2007/054575 A1

PROCEDE DE DÉTERMINATION DE COEFFICIENT D'ETALONNAGE
DE CHAMBRE D'IONISATION

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR

5 La présente invention concerne un procédé de détermination de facteur d'ajustement de chambre d'ionisation. La présente invention concerne également un procédé de détermination de coefficients d'étalonnage ainsi qu'un procédé d'étalonnage de
10 chambre d'ionisation.

 Les procédés de l'invention s'appliquent à la mesure de l'activité de tout radionucléide dans des domaines très variés (recherche fondamentale, industrie, médecine nucléaire, etc.). Les rayonnements
15 ionisants détectés sont des rayonnements photoniques (X et/ou γ (gamma)) et/ou électroniques (électrons et/ou rayonnement β (bêta)). Les mesures d'activité concernées sont, par exemple, des mesures de solutions injectables aux patients pour le radiodiagnostic ou la
20 radiothérapie, des mesures de sources scellées pour la curiethérapie, pour l'étude d'étanchéité de conduites ou de surveillance de rejets gazeux pour la protection de l'environnement, etc.

 Les chambres d'ionisation concernées par
25 l'invention sont, préférentiellement, des chambres pressurisées de forme cylindrique qui comprennent un puits au sein duquel est introduit l'échantillon radioactif qui contient le radionucléide à mesurer.

 Le radionucléide est placé dans un milieu
30 (eau, résine, poudre, etc.) communément appelé

« matrice ». L'échantillon radioactif est contenu dans une structure (ampoule, flacon, seringue, gélule, etc.) communément appelé « conditionnement ».

Les chambres d'ionisation délivrent un
5 courant électrique proportionnel à l'activité de l'échantillon mesuré. Le coefficient de proportionnalité dépend principalement du spectre d'énergie des rayonnements émis par le radionucléide, ainsi que de l'absorption et de l'atténuation de ces
10 rayonnements par la matrice de l'échantillon, par le conditionnement de l'échantillon, par l'air environnant l'échantillon, par le support de l'échantillon et, plus généralement, par tous les matériaux constitutifs de la chambre.

15 La détermination du coefficient de proportionnalité entre le courant électrique et la valeur connue de l'activité d'une source étalon, appelé coefficient d'étalonnage, fait l'objet d'une procédure d'étalonnage.

20 La procédure d'étalonnage doit satisfaire aux recommandations décrites dans la norme internationale CEI 61145 ayant pour titre : «*Etalonnage et utilisation de systèmes à chambre d'ionisation pour le dosage des radionucléides*» (cf. ref. (F)). Une des
25 recommandations que doit satisfaire la procédure d'étalonnage porte sur son niveau de précision qui doit être de ± 10 % pour un facteur d'élargissement k égal à 3 (un facteur d'élargissement égal à 3 correspond à un niveau de confiance de 99,73% pour une distribution
30 gaussienne).

L'étalonnage d'une chambre d'ionisation dépend, entre autres, de la nature du radionucléide mesuré, de sa matrice et de son conditionnement. Selon l'art antérieur, il est nécessaire de réaliser autant
5 d'étalonnages qu'il existe de conditions de mesures.

Toutes les manipulations de sources radioactives effectuées lors des étalonnages sont très contraignantes en temps et en argent. Par ailleurs, ces manipulations posent des problèmes de radioprotection
10 des opérateurs et de production de déchets radioactifs.

Qui plus est, il n'est pas toujours possible de réaliser l'étalonnage dans les mêmes conditions d'utilisation que celles de la mesure à effectuer. Ces contraintes obligent ainsi parfois les
15 utilisateurs à procéder à des dilutions de solutions étalons pour étalonner la chambre d'ionisation dans la géométrie souhaitée, voire même, à réaliser les étalonnages dans des configurations proches mais non identiques à celles des mesures de routine. Ceci
20 entraîne des risques d'erreur qui conduisent à une mesure erronée de l'activité. Ce problème est notamment mentionné au paragraphe 4.2.1 de la norme CEI 61145.

Diverses études internationales portant sur la détermination expérimentale des coefficients
25 d'étalonnage ont fait l'objet de publications (voir l'ensemble des références en fin de description). Beaucoup de publications répondent à un réel besoin de connaissance des coefficients d'étalonnage des différents types d'activimètres utilisés dans les
30 services mondiaux de médecine nucléaire. A ce titre, ces études s'intéressent plus particulièrement aux

coefficients d'étalonnage d'activimètres pour l'ensemble des radiopharmaceutiques selon leurs divers conditionnements possibles suivant leur utilisation en radiodiagnostic ou en radiothérapie interne.

5 Quelques études internationales déterminant les coefficients d'étalonnage suivant une approche purement expérimentale sont décrites ci-dessous.

Le laboratoire primaire des Etats-Unis (B. E. Zimmerman, et J. T. Cessna, 2000/(cf. référence. (P)) a comparé des coefficients d'étalonnage déterminés expérimentalement à ceux délivrés par le constructeur. Il a conclu que les écarts observés s'élèvent parfois jusqu'à presque 50 % et qu'il est, par conséquent, nécessaire de déterminer les coefficients d'étalonnage expérimentalement dans les mêmes conditions géométriques que les mesures de routine.

Le laboratoire primaire du Royaume-Uni a mené des recherches expérimentales afin, notamment, de déterminer le facteur correctif à appliquer à un coefficient d'étalonnage associé à une seringue de volume 5 ml d'une même série constructeur pour déterminer les coefficients d'étalonnage associés à différents volumes de solutions radioactives contenues dans cette même seringue (D. K. Tyler et M. J. Woods, 2003/(cf. référence (N)). Les auteurs ont conclu qu'ils ne pouvaient appliquer cette méthode expérimentale, notamment parce que les géométries de seringues sont trop différentes d'une série de production à l'autre et d'un fabricant à l'autre.

30 En conclusion, il apparaît que les mesures de routine, réalisées notamment dans les services de

médecine nucléaire, correspondent à des configurations si nombreuses (volume dépendant des patients, géométries de flaconnages entre fournisseurs) qu'il semble impossible aux constructeurs de fournir de manière exhaustive toutes les valeurs associées de coefficients d'étalonnage. Or, pour qu'une mesure d'activité réponde au niveau d'incertitude recommandé par la norme CEI 61145, l'étalonnage doit être réalisé dans des conditions identiques à celle de la mesure.

Par ailleurs, des études internationales portant sur la réponse des chambres d'ionisation en fonction de l'énergie sont également en cours. Il existe peu de radionucléides monoénergétiques qui permettent de connaître la réponse de la chambre d'ionisation en fonction de l'énergie. Cette difficulté a conduit à modéliser les chambres d'ionisation et à simuler l'interaction rayonnement-matière de l'ensemble source-détecteur.

Au Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), une première étude de simulation de la réponse d'une chambre d'ionisation à l'aide du code de Monte Carlo PENELOPE (F. Salvat et al, 2001/(cf. référence. (K)) a été validée par l'expérience pour de nombreux radionucléides uniquement émetteurs de photons dont des radiopharmaceutiques (A. de Vismes et M. N. Amiot, 2003/(cf. référence. (O)) ; M. N. Amiot, 2004/(cf. référence. (A)). Cette étude démontre, notamment, qu'il est possible de déterminer des facteurs d'étalonnage simulés pour différentes configurations de système de détection avec un niveau d'incertitude de l'ordre de 1 %. La méthode décrite dans cet article nécessite de

déterminer très précisément, à l'aide de la simulation, la pression de remplissage du gaz de la chambre d'ionisation étudiée. Cette détermination est effectuée à l'aide d'un facteur d'ajustement appliqué à la

5 densité du gaz et calculé comme la moyenne des rapports des coefficients d'étalonnage simulés sur les coefficients d'étalonnage expérimentaux pour 11 radionucléides émetteurs de photons. De nouvelles simulations sont alors mises en œuvre (intégrant la

10 nouvelle valeur de densité dans les fichiers d'entrée du code de Monte Carlo) pour déterminer les valeurs d'énergie déposée dans le gaz pour chacune des raies énergétiques d'émission photonique des radionucléides concernés (soit 29 simulations d'environ 15 heures CPU

15 chacune considérant une vitesse de processeur de 2 GHz afin d'atteindre une incertitude inférieure au pour cent). Les coefficients d'étalonnage théoriques des radionucléides étudiés sont calculés comme le produit d'une constante caractéristique du gaz (charge de

20 l'électron divisée par l'énergie moyenne nécessaire à la création d'une paire d'ions) et de la somme discrète pour chaque raie d'émission photonique des valeurs d'énergies déposée pondérées par leur intensité d'émission. On pourra noter dans cet article, que

25 d'une part, les radionucléides concernés sont considérés comme des émetteurs purement photoniques, et que d'autre part, une fois la nouvelle valeur de pression du gaz calculée, la détermination des coefficients d'étalonnage simulés a requis un temps CPU

30 de calcul et d'analyse des résultats intermédiaires

important (typiquement 1 mois) et ce pour la chambre d'ionisation étudiée.

Les instituts nationaux de métrologie japonais, suisse et de la République tchèque ont
5 commencé l'étude de la réponse d'une chambre d'ionisation à l'aide d'autres codes de simulation de Monte Carlo, respectivement le code EGS (Suzuki et al., 1998/(cf. référence. (M)), le code GEANT3 (Gostely and Leadermann, 2000/(cf. référence. (C)) et le code MCNP4
10 (Olsovcova, 2004/(cf. référence. (I)). Les abréviations EGS, GEANT et MCNP correspondent, respectivement, aux expressions anglo-saxonnes « Electron Gamma Shower », « GEometry AND Tracking » et « Monte Carlo N Particle ».

15 Récemment, le laboratoire primaire suisse a publié la réponse en fonction de l'énergie de rayonnements photoniques et de particules β d'un activimètre commercial à l'aide du code GEANT3 (J. P. Laedermann et al, 2004/(cf. référence. (E)).

20 Ces études de simulation de la réponse des chambres d'ionisation ou activimètres présentées sont spécifiques d'une chambre d'ionisation ou d'un activimètre donné et à une (voire deux) géométrie(s) donnée(s). Les auteurs affirment que la simulation
25 seule ne permet pas d'obtenir des coefficients d'étalonnage absolus à moins de 8 % pour tous les radionucléides détectables par les chambres d'ionisation.

Les auteurs de ces études affirment que la
30 réponse simulée est uniquement spécifique à la chambre

d'ionisation ou à l'activimètre considéré pour les configurations de sources considérées.

De l'exposé de l'art antérieur décrit ci-dessus, il apparaît que les procédés d'étalonnage connus présentent de nombreux inconvénients. L'invention ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

En effet, l'invention concerne un procédé de détermination d'au moins un facteur d'ajustement électronique (P_{el}^{ajust}) de chambre d'ionisation contenant un gaz, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape de modélisation de la chambre d'ionisation et d'au moins une source radioactive étalon de matrice et de conditionnement donnés émettant un rayonnement électronique,

- une étape de simulation pour déterminer, à partir d'un code de transport de rayonnement électronique dans la matière, une réponse simulée, en fonction de l'énergie, de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon,

- une étape de calcul du spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive étalon,

- une étape de détermination de courant simulé par unité d'activité pour la source radioactive étalon ($C_{o/el}^{ajust}$, $C_{o/el}^i$) à partir de la réponse simulée (R_{el}^{ajust} , R_{el}^i) et du spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive étalon,

- une étape de mesure d'un courant d'ionisation (I_{el}^{ajust} , I_{el}^i) associé à la source radioactive étalon,

5 - une étape de détermination de coefficient d'étalonnage expérimental ($C_{exp/el}^{ajust}$, $C_{exp/el}^i$) pour la source radioactive étalon à partir de la mesure du courant d'ionisation, et

- une étape de détermination du facteur d'ajustement électronique (P_{el}^{ajust}) sous la forme du
10 rapport entre le coefficient d'étalonnage expérimental pour la source radioactive étalon et le courant simulé par unité d'activité pour la source radioactive étalon.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, un premier facteur d'ajustement
15 électronique P_{el}^{ajust} de chambre d'ionisation est déterminé pour une première source radioactive étalon contenant un premier type de radionucléide, dite source étalon d'ajustement, et au moins un deuxième facteur d'ajustement électronique P_{el}^i de chambre d'ionisation
20 est déterminé pour une deuxième source radioactive étalon contenant un deuxième type de radionucléide identique ou différent du premier type, dite source étalon de validation.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le procédé comprend, en outre, une étape
25 de validation du premier facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} dans laquelle :

- une quantité $\Delta_{i/el}$ telle que :

$$\Delta_{i/el} = \left| P_{el}^{ajust} - P_{el}^i \right| / P_{el}^{ajust}$$

30 est calculée,

- une quantité $U(\Delta_{i/el})$ telle que :

$$U(\Delta_{i/el}) = 3 (1 + \Delta_{i/el}) \sqrt{\left(\sigma(P_{el}^{ajust})/P_{el}^{ajust}\right)^2 + \left(\sigma(P_{el}^i)/P_{el}^i\right)^2}$$

est calculée, dans laquelle $\sigma(P_{el}^{ajust})$ et $\sigma(P_{el}^i)$ sont, respectivement, les incertitudes composées des facteurs d'ajustement P_{el}^{ajust} et P_{el}^i ,

5 - la quantité $\Delta_{i/el}$ est comparée à la quantité $U(\Delta_{i/el})$, et

- le premier facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} est validé si : $\Delta_{i/el} \leq U(\Delta_{i/el})$.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, la quantité $U(\Delta_{i/el})$ à laquelle est comparée la quantité $\Delta_{i/el}$ a une valeur inférieure ou égale à $\pm 10\%$.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si $\Delta_{i/el}$ est supérieur à $U(\Delta_{i/el})$, le premier
 15 facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} n'est pas validé et le procédé est réitéré à partir de l'étape de modélisation et/ou de simulation, avec des modifications de paramètres aptes à modifier la réponse simulée de l'installation de mesure constituée de la chambre
 20 d'ionisation et de la source étalon, jusqu'à ce que la condition $\Delta_{i/el} \leq U(\Delta_{i/el})$ soit vérifiée.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le courant simulé par unité d'activité d'une source étalon s'écrit :

$$25 \quad C_{O/el} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}(E) R_{el}(E) dE$$

où :

- $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions,

- $E_{\max}$ est une énergie maximale d'intérêt,
- $S_{el}(E)$ est le spectre continu d'émission électronique théorique de la source étalon, et
- $R_{el}(E)$ est la réponse de l'installation de mesure
5 constituée de la chambre d'ionisation et de la source étalon.

L'invention concerne également un procédé de détermination de coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$ de source radioactive à mesurer) émettant un
10 rayonnement électronique dans une chambre d'ionisation, caractérisé en ce que, la chambre d'ionisation ayant un facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} obtenu par un procédé conforme au procédé de l'invention, la source radioactive à mesurer contenant un type donné de
15 radionucléide et ayant une matrice et un conditionnement de types donnés, il comprend, si le type donné de matrice et le type donné de conditionnement de la source radioactive à mesurer sont respectivement identiques au type de matrice et au type
20 de conditionnement d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} :

- une étape de calcul de courant simulé par unité d'activité $C_{o/el}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer, et
- 25 - une étape de calcul du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer de sorte que :

$$C_{sim/el}^{SM} = C_{o/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust}.$$

Selon une caractéristique supplémentaire de
30 l'invention, le courant simulé par unité d'activité

$C_{O/el}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer est donné par la formule :

$$C_{O/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}^{SM}(E) dE,$$

où :

- 5 - $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions,
- E_{max} est une énergie maximale d'intérêt,
- $S_{el}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission théorique continu
10 de la source à mesurer, et
- $R_{el}^{SM}(E)$ est la réponse de l'installation de mesure constituée de la chambre d'ionisation et d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} .

15 Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si le type donné de matrice et/ou de conditionnement de la source radioactive à mesurer est différent, respectivement, du type de matrice et/ou du type de conditionnement d'une source étalon utilisée
20 pour obtenir le facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} , il est requis de savoir si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée ou non, et si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive
25 à mesurer est validée, il est requis de savoir si une simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue et, si une simulation
30 de la réponse en fonction de l'énergie de

l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue, il y a :

- 5 - détermination d'un courant simulé par unité d'activité de la source radioactive à mesurer $C_{0/el}^{SM}$ de sorte que :

$$C_{0/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}(E) dE$$

où $S_{el}^{SM}(E)$ est le spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{el}(E)$ la simulation connue de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer, et

- détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$, de sorte que :

$$C_{sim/el}^{SE} = C_{0/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust}.$$

20 Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer n'est pas validée, le procédé comprend :

- une modélisation d'une source radioactive étalon supplémentaire de type de matrice et de type de conditionnement identiques à ceux de la source radioactive à mesurer,
- une simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse ($R_{el}^{SE}(E)$) de l'installation de mesure constituée par la

chambre d'ionisation et la source radioactive étalon supplémentaire,

- une mesure de courant d'ionisation (I_{el}^{SE}) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,

5 - une détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{exp/el}^{SE}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,

- un calcul de la quantité Δ_C telle que :

$$10 \quad \Delta_{C/el} = \left| C_{exp/el}^{SE} - C_{sim/el}^{SE} \right| / C_{exp/el}^{SE}$$

- un calcul de la quantité $U(\Delta_C)$ telle que :

$$U(\Delta_{C/el}) = 3 (1 + \Delta_{C/el}) \sqrt{\left(\sigma(C_{exp/el}^{SE}) / C_{exp/el}^{SE} \right)^2 + \left(\sigma(C_{sim/el}^{SE}) / C_{sim/el}^{SE} \right)^2},$$

où $\sigma(C_{exp/el}^{SE})$ et $\sigma(C_{sim/el}^{SE})$ sont, respectivement, les
15 incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{exp/el}^{SE}$ et $C_{sim/el}^{SE}$,

- une comparaison de la quantité $\Delta_{C/el}$ avec la quantité $U(\Delta_{C/el})$, et

- si $\Delta_{C/el} \leq U(\Delta_{C/el})$, un calcul du courant
20 simulé par unité d'activité $C_{O/el}^{SM}$ de la source à mesurer (SM) de sorte que :

$$C_{O/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}^{SE}(E) dE$$

où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la
25 chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{el}^{SM}(E)$ est le spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{el}^{SE}(E)$ la simulation de la réponse de l'installation

constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon supplémentaire, et

- une détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{\text{sim/el}}^{\text{SM}}$, de sorte que :

5
$$C_{\text{sim/el}}^{\text{SE}} = C_{0/\text{el}}^{\text{SM}} \times P_{\text{el}}^{\text{ajust}}$$

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si $\Delta_{\text{C/el}}$ est supérieur à $U(\Delta_{\text{C/el}})$, les calculs du courant par unité d'activité et du coefficient d'étalonnage simulé de la source radioactive à mesurer ne sont pas effectués et le procédé est réitéré à partir de l'étape de modélisation et/ou de simulation de la source radioactive étalon supplémentaire), avec des modifications de paramètres jusqu'à ce que la condition $\Delta_{\text{C/el}} \leq U(\Delta_{\text{C/el}})$ soit obtenue.

15 Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée et si la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer n'est pas connue, les étapes suivantes sont effectuées :

20 - simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse ($R_{\text{el}}^{\text{SE}}(E)$) de l'installation de mesure constituée par la chambre d'ionisation et une source radioactive étalon supplémentaire,

30 - mesure de courant d'ionisation ($I_{\text{el}}^{\text{SE}}$) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,

- détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{\text{exp/el}}^{\text{SE}}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,

5 - calcul de la quantité Δ_C telle que :

$$\Delta_{C/\text{el}} = \left| C_{\text{exp/el}}^{\text{SE}} - C_{\text{sim/el}}^{\text{SE}} \right| / C_{\text{exp/el}}^{\text{SE}}$$

- calcul de la quantité $U(\Delta_C)$ telle que :

$$U(\Delta_{C/\text{el}}) = 3 (1 + \Delta_{C/\text{el}}) \sqrt{\left(\sigma(C_{\text{exp/el}}^{\text{SE}}) / C_{\text{exp/el}}^{\text{SE}} \right)^2 + \left(\sigma(C_{\text{sim/el}}^{\text{SE}}) / C_{\text{sim/el}}^{\text{SE}} \right)^2},$$

où $\sigma(C_{\text{exp/el}}^{\text{SE}})$ et $\sigma(C_{\text{sim/el}}^{\text{SE}})$ sont, respectivement, les
 10 incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{\text{exp/el}}^{\text{SE}}$ et $C_{\text{sim/el}}^{\text{SE}}$,

- comparaison de la quantité $\Delta_{C/\text{el}}$ avec la quantité $U(\Delta_{C/\text{el}})$, et

- si $\Delta_{C/\text{el}} \leq U(\Delta_{C/\text{el}})$, calcul du courant
 15 simulé par unité d'activité $C_{0/\text{el}}^{\text{SM}}$ de la source à mesurer (SM) de sorte que :

$$C_{0/\text{el}}^{\text{SM}} = K \int_0^{E_{\text{max}}} S_{\text{el}}^{\text{SM}}(E) R_{\text{el}}^{\text{SE}}(E) dE$$

où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la
 20 chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{\text{el}}^{\text{SM}}(E)$ est le spectre d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{\text{el}}^{\text{SE}}(E)$ la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon
 25 supplémentaire, et

- détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{\text{sim/el}}^{\text{SM}}$, de sorte que :

$$C_{\text{sim/el}}^{\text{SE}} = C_{0/\text{el}}^{\text{SM}} \times P_{\text{el}}^{\text{ajust}}$$

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le rayonnement électronique est un rayonnement d'électrons et/ou de particules β .

L'invention concerne également un procédé
5 de détermination de coefficient d'étalonnage simulé de source radioactive à mesurer dans une chambre d'ionisation, la source radioactive à mesurer émettant un rayonnement photonique, le procédé comprenant une étape de détermination d'au moins un facteur
10 d'ajustement (P_{ph}^{ajust}) de chambre d'ionisation contenant un gaz qui comprend :

- une étape de modélisation de la chambre d'ionisation et d'au moins une source radioactive étalon de matrice et de conditionnement donnés émettant
15 un rayonnement photonique,

- une étape de simulation pour déterminer, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, une réponse simulée (R_{ph}^{ajust} , R_{ph}^i), en fonction de l'énergie, de l'installation constituée de la
20 chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon,

- une étape de détermination de courant simulé par unité d'activité pour la source radioactive étalon ($C_{o/ph}^{ajust}$, $C_{o/ph}^i$) à partir de la réponse simulée
25 (R_{ph}^{ajust} , R_{ph}^i),

- une étape de mesure d'un courant d'ionisation (I_{ph}^{ajust} , I_{ph}^i) associé à la source radioactive étalon,

- une étape de détermination de
30 coefficient d'étalonnage expérimental ($C_{exp/ph}^{ajust}$,

$C_{\text{exp/ph}}^i$) pour la source radioactive étalon à partir de la mesure du courant d'ionisation, et

- une étape de détermination du facteur d'ajustement ($P_{\text{ph}}^{\text{ajust}}$) sous la forme du rapport entre le coefficient d'étalonnage expérimental pour la source radioactive étalon et le courant simulé par unité d'activité pour la source radioactive étalon,

caractérisé en ce que, la source radioactive à mesurer contenant un type donné de radionucléide et ayant une matrice et un conditionnement de type donnés, il comprend, si le type donné de matrice et le type donné de conditionnement de la source radioactive à mesurer sont respectivement identiques au type de matrice et au type de conditionnement d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement :

- une étape de calcul de courant simulé par unité d'activité $C_{\text{O/ph}}^{\text{SM}}$ de la source radioactive à mesurer, et
- une étape de calcul du coefficient d'étalonnage simulé $C_{\text{sim/ph}}^{\text{SM}}$ de la source radioactive à mesurer de sorte que :

$$C_{\text{sim/ph}}^{\text{SM}} = C_{\text{O/ph}}^{\text{SM}} \times P_{\text{ph}}^{\text{ajust}}.$$

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le courant simulé par unité d'activité $C_{\text{O/ph}}^{\text{SM}}$ de la source radioactive à mesurer est donné par la formule :

$$C_{\text{O/ph}}^{\text{SM}} = K \int_0^{E_{\text{max}}} S_{\text{ph}}^{\text{SM}}(E) R_{\text{ph}}^{\text{SM}}(E) dE ,$$

où :

- $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions,
- $E_{\max}$ est une énergie maximale d'intérêt,
- 5 - $S_{\text{ph}}^{\text{SM}}(E)$ est le spectre d'émission photonique théorique de la source à mesurer, et
- $R_{\text{ph}}^{\text{SM}}(E)$ est la réponse de l'installation de mesure constituée de la chambre d'ionisation et d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement
- 10 $P_{\text{ph}}^{\text{ajust}}$.

On notera ici que dans l'article (A. de Vismes et M. N. Amiot, 2003/(cf. référence. (0)), les radionucléides considérés pour simuler la réponse de la chambre afin de déterminer le facteur d'ajustement à

15 appliquer à la densité du gaz font l'objet de nouvelles simulations avec la nouvelle valeur de pression pour la détermination de leurs coefficients d'étalonnage simulé (qui correspondent d'après la terminologie de la présente invention aux courants simulés par unité

20 d'activité). Dans la présente invention, cette étape n'est pas nécessaire. Parmi les avantages que procure la présente invention (prise en compte du gain électronique, simulation des électrons), la suppression de cette étape représente une réduction importante du

25 temps CPU et du temps d'analyse des résultats.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si le type donné de matrice et/ou de conditionnement de la source radioactive à mesurer est différent, respectivement, du type de matrice et/ou du

30 type de conditionnement d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement $P_{\text{ph}}^{\text{ajust}}$, il est

requis de savoir si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée ou non, et si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée, il est requis de savoir si une simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue et, si une simulation de la réponse en fonction de l'énergie de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue, il y a :

- détermination d'un courant simulé par unité d'activité de la source radioactive à mesurer $C_{O/ph}^{SM}$ de sorte que :

$$C_{O/ph}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{ph}^{SM}(E) R_{ph}(E) dE$$

où $S_{ph}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission photonique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{ph}(E)$ la simulation connue de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer, et

- détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/ph}^{SM}$, de sorte que :

$$C_{sim/ph}^{SE} = C_{O/ph}^{SM} \times P_{ph}^{ajust}.$$

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si une modélisation de la matrice et du

conditionnement de la source radioactive à mesurer n'est pas validée, il comprend :

- une modélisation d'une source radioactive étalon supplémentaire de type de matrice et de type de conditionnement identiques à ceux de la source radioactive à mesurer,
- une simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse ($R_{ph}^{SE}(E)$) de l'installation de mesure constituée par la chambre d'ionisation et la source radioactive étalon supplémentaire,
- une mesure de courant d'ionisation (I_{ph}^{SE}) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,
- une détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{exp/ph}^{SE}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,
- un calcul de la quantité $\Delta_{C/ph}$ telle que :

$$\Delta_{C/ph} = \left| C_{exp/ph}^{SE} - C_{sim/ph}^{SE} \right| / C_{exp/ph}^{SE}$$

- un calcul de la quantité $U(\Delta_{C/ph})$ telle que :

$$U(\Delta_{C/ph}) = 3 (1 + \Delta_{C/ph})$$

$$\sqrt{\left(\sigma(C_{exp/ph}^{SE}) / C_{exp/ph}^{SE} \right)^2 + \left(\sigma(C_{sim/ph}^{SE}) / C_{sim/ph}^{SE} \right)^2},$$

- où $\sigma(C_{exp/ph}^{SE})$ et $\sigma(C_{sim/ph}^{SE})$ sont, respectivement, les incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{exp/ph}^{SE}$ et $C_{sim/ph}^{SE}$,

- une comparaison de la quantité $\Delta_{C/ph}$ avec la quantité $U(\Delta_{C/ph})$, et

- si $\Delta_{C/ph} \leq U(\Delta_{C/ph})$, un calcul du courant simulé par unité d'activité C_0^{SM} de la source à mesurer de sorte que :

$$C_{O/ph}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{ph}^{SM}(E) R_{ph}^{SE}(E) dE$$

5 où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{ph}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission photonique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{ph}^{SE}(E)$ la simulation
10 de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon supplémentaire, et

- une détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/ph}^{SM}$, de sorte que :

15
$$C_{sim/ph}^{SE} = C_{O/ph}^{SM} \times P_{ph}^{ajust}$$

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si $\Delta_{C/ph}$ est supérieur à $U(\Delta_{C/ph})$, les calculs du courant par unité d'activité et du coefficient d'étalonnage simulé de la source
20 radioactive à mesurer ne sont pas effectués et le procédé est réitéré à partir de l'étape de modélisation et/ou de simulation de la source radioactive étalon supplémentaire, avec des modifications de paramètres jusqu'à ce que la condition $\Delta_{C/ph} \leq U(\Delta_{C/ph})$ soit obtenue.

25 Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée et si la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et
30 d'une source radioactive de matrice et de

conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer n'est pas connue, il y a :

- une simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse
5 $(R_{ph}^{SE}(E))$ de l'installation de mesure constituée par la chambre d'ionisation et une source radioactive étalon supplémentaire,
- une mesure de courant d'ionisation (I_{ph}^{SE}) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,
- 10 - une détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{exp/ph}^{SE}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,

- un calcul de la quantité $\Delta_{C/ph}$ telle que :

$$15 \quad \Delta_{C/ph} = \left| C_{exp/ph}^{SE} - C_{sim/ph}^{SE} \right| / C_{exp/ph}^{SE}$$

- un calcul de la quantité $U(\Delta_{C/ph})$ telle que :

$$U(\Delta_{C/ph}) = 3 (1 + \Delta_{C/ph})$$

$$\sqrt{\left(\sigma(C_{exp/ph}^{SE}) / C_{exp/ph}^{SE} \right)^2 + \left(\sigma(C_{sim/ph}^{SE}) / C_{sim/ph}^{SE} \right)^2},$$

- 20 où $\sigma(C_{exp/ph}^{SE})$ et $\sigma(C_{sim/ph}^{SE})$ sont, respectivement, les incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{exp/ph}^{SE}$ et $C_{sim/ph}^{SE}$,

- une comparaison de la quantité Δ_C avec la quantité $U(\Delta_{C/ph})$, et
- 25 - si $\Delta_{C/ph} \leq U(\Delta_{C/ph})$, un calcul du courant simulé par unité d'activité C_0^{SM} de la source à mesurer (SM) de sorte que :

$$C_{O/ph}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{ph}^{SM}(E) R_{ph}^{SE}(E) dE$$

où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{ph}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{ph}^{SE}(E)$ la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon supplémentaire, et

- une détermination du coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SM} , de sorte que :

$$C_{sim/ph}^{SE} = C_{0/ph}^{SM} \times P_{ph}^{ajust}$$

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le code de transport est un code de Monte Carlo.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le code de Monte Carlo est le code PENELOPE.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le rayonnement photonique est un rayonnement X et/ou γ .

L'invention concerne également un procédé de détermination de coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SM} de source radioactive à mesurer dans une chambre d'ionisation, la source radioactive à mesurer émettant un rayonnement photonique et un rayonnement électronique, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de détermination de coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/ph}^{SM}$ pour le rayonnement photonique conforme à l'invention et une étape de détermination de coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$ pour le rayonnement électronique conforme à l'invention, le

coefficient d'étalonnage simulé de la source radioactive à mesurer qui émet un rayonnement photonique et un rayonnement électronique étant donné par la formule :

5
$$C_{sim}^{SM} = C_{sim/ph}^{SM} + C_{sim/el}^{SM}$$

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, si sensiblement au moins 99% de l'intensité totale rayonnée par la source radioactive à mesurer est un rayonnement photonique ou si l'énergie du rayonnement photonique est sensiblement inférieure
10 ou égale à 800keV, le coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SM} de la source à mesurer est sensiblement égal au seul coefficient $C_{sim/ph}^{SM}$, le coefficient $C_{sim/el}^{SM}$ étant alors négligé.

15 L'invention concerne également un procédé d'étalonnage de chambre d'ionisation comprenant une étape de détermination de coefficient d'étalonnage simulé de source radioactive à mesurer, caractérisé en ce que l'étape de détermination de coefficient
20 d'étalonnage simulé de source radioactive à mesurer est mise en œuvre par un procédé selon l'invention.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le code de transport est un code de Monte Carlo.

25 Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, le code de Monte Carlo est le code PENELOPE.

La modélisation de l'installation de mesure et la simulation de l'interaction rayonnement-matière
30 au sein de l'échantillon et du détecteur permettent de calculer, à l'aide d'un seul paramètre par nature de

particule, paramètre ajustable expérimentalement, spécifique à un type de chambres d'ionisation et indépendant de l'échantillon, tous les coefficients d'étalonnage de tous les radionucléides, quelle que
5 soit leur matrice et/ou leur conditionnement. Le paramètre ajustable est ici appelé facteur d'ajustement. La valeur du facteur d'ajustement est déduite de la mesure d'au moins une source étalon (i.e. dont l'activité est connue), caractérisée, notamment,
10 en termes d'impuretés, de composition et de géométrie. Une à deux autres sources doivent également être mesurées pour valider la modélisation et la simulation de chaque nouvelle matrice et/ou nouveau conditionnement d'échantillon.

15 Les coefficients d'étalonnage calculés pour des configurations de sources données peuvent être appliqués, avec un niveau d'incertitude inférieur à $\pm 10\%$ pour un facteur d'élargissement k égal à 3, à toutes les chambres d'ionisation d'une même référence
20 constructeur, pour des matrices et des conditionnements identiques à ceux utilisés pour la mesure du facteur d'ajustement et/ou à ceux dont la modélisation et la simulation ont été validées.

La modélisation de toute nouvelle matrice
25 et/ou de tout nouveau conditionnement nécessite d'être validée par une mesure expérimentale respectant la nouvelle configuration de source. La validation de cette nouvelle configuration de source peut être avantageusement réalisée avec un autre radionucléide
30 que celui intéressant le client. En effet, chaque modélisation de nouvelle matrice et/ou de nouveau

conditionnement de source radioactive est applicable à tous les radionucléides émetteurs de rayonnements X, γ électronique, β .

La présente invention met avantageusement
5 en place un procédé qui permet d'étalonner
« virtuellement » des chambres d'ionisation avec un
niveau de précision inférieur à 10% pour un facteur
d'élargissement k égal à 3 (conforme à la norme CEI).

Le procédé de l'invention permet de réduire
10 de manière très importante la manipulation des sources
radioactives. Le procédé de l'invention s'applique
avantageusement à tout type de chambre, sa mise en
place n'étant réalisée qu'une seule fois (i.e. sur une
seule chambre d'ionisation) pour toutes les chambres
15 d'un même type.

Le procédé de l'invention détermine les
coefficients d'étalonnage pour toute configuration de
sources (en terme de nature de source, de matrice et de
conditionnement) à partir de la simulation source-
20 détecteur et de la mesure d'un petit nombre de sources
radioactives étalons, pour une chambre d'ionisation
particulière représentative d'un type de chambres
d'ionisation.

Les coefficients d'étalonnage obtenus selon
25 le procédé de l'invention peuvent être appliqués à
toutes les chambres d'ionisation de même référence
constructeur que celle pour laquelle le procédé a été
mis en place, pour toutes les configurations de sources
simulées et validées (en terme de nature de
30 rayonnement, de matrice et de conditionnement) avec un
niveau d'incertitude inférieur à $\pm 10\%$, conforme à la

norme CEI, sans aucune manipulation supplémentaire de source radioactive.

Le procédé d'étalonnage de l'invention s'applique, entre autres, aux activimètres. Les
5 activimètres sont constitués d'une chambre d'ionisation connectée à une électronique/informatique de commande qui traite le courant électrique délivré par la chambre et fournit une indication (en Curie ou en Becquerel) de la mesure de l'activité du radionucléide mesuré.

10 L'adoption du procédé d'étalonnage de l'invention permet de diminuer la dosimétrie individuelle de l'ensemble des intervenants potentiellement impliqués dans l'étalonnage de chambres d'ionisation, en réduisant de manière drastique leur
15 manipulation d'échantillons radioactifs. Par ailleurs, l'adoption du procédé de l'invention permet de diminuer la production des déchets radioactifs généralement générés par les étalonnages expérimentaux.

Le procédé de l'invention est
20 particulièrement avantageux pour différents types d'intervenants concernés par l'étalonnage de chambres d'ionisations. Grâce à la mise en œuvre du procédé de l'invention, les constructeurs de chambres d'ionisation seraient en mesure, pour un investissement mineur, de
25 proposer des chambres d'ionisation étalonnées dans les conditions requises par leurs clients (actuellement, les constructeurs livrent des chambres d'ionisation étalonnées pour quelques radionucléides dans une seule géométrie, qui plus est non spécifiée ; le client,
30 lorsqu'il a le temps et le personnel, réalise lui-même les étalonnages dont il a besoin, sinon, il s'adresse à

un organisme agréé pour l'étalonnage de chambres d'ionisation). De même, les organismes ou entreprises agréés pour l'étalonnage expérimental de chambres d'ionisation pourraient augmenter la productivité et la
5 qualité de leur service par l'adoption du procédé de l'invention.

Par la mise en œuvre du procédé de l'invention, les constructeurs de chambre d'ionisation ou les organismes agréés pour l'étalonnage
10 présenteraient de nombreux avantages pour leurs clients vis-à-vis de la concurrence.

De même, en ce qui concerne les chambres d'ionisation ou activimètres utilisés dans les centres médicaux, l'adoption du procédé de l'invention
15 permettrait de réduire :

- la charge financière des établissements médicaux (CHU, cliniques, ...) pour l'achat des solutions radioactives ainsi que le risque associé au transport de ces solutions ;
- 20 - le temps d'immobilisation des chambres d'ionisation ou activimètres et, conjointement, le délai de prise en charge des patients.

Les constructeurs de chambre d'ionisation ou les organismes agréés pour leur étalonnages
25 pourraient également assurer un « service après vente » pour délivrer les valeurs des nouveaux coefficients d'étalonnage au fur et à mesure de nouveaux besoins de leurs clients (nouveaux radionucléides, nouvelles matrices et/ou nouveaux conditionnements).

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de modes de réalisation préférentiels faits en référence aux figures jointes, parmi lesquelles :

- La figure 1 représente une réponse de chambre d'ionisation Vinten 671 remplie d'azote pour des solutions radioactives HCl 0,1M de 5ml conditionnées dans des ampoules de verre ;
- 10 - la figure 2 représente une réponse de chambre d'ionisation prototype remplie d'argon pour des solutions radioactives HCl 0,1M de 5ml conditionnées dans des ampoules en verre ;
- la figure 3 représente un organigramme d'un
15 procédé de détermination de facteur d'ajustement de chambre d'ionisation, pour un type de rayonnement donné, selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention ;
- la figure 4 représente un organigramme d'un
20 procédé de détermination de coefficient d'étalonnage de source radioactive à mesurer émettant un rayonnement photonique ou un rayonnement électronique, selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention ;
- 25 - la figure 5 représente un organigramme d'un procédé de détermination de coefficient d'étalonnage de source radioactive à mesurer émettant un rayonnement photonique et un
30 rayonnement électronique, selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention ;

- la figure 6 représente un dispositif pour la mise en œuvre des procédés de détermination de facteur d'ajustement et de coefficient d'étalonnage selon l'invention ;
- 5 - la figure 7 représente des dispersions de valeurs de coefficients d'étalonnage pour différents radionucléides, pour N chambres d'ionisation différentes d'un premier type de chambre (chambre de l'activimètre CRC15 de chez Capinec) ;
- 10 - la figure 8 représente des dispersions de valeurs de coefficients d'étalonnage pour différents radionucléides, pour N chambres d'ionisation différentes d'un deuxième type de chambre (chambre de l'activimètre Medi 404 de chez
- 15 Médisystem) ;
- la figure 9 représente des dispersions de valeurs de coefficients d'étalonnage pour différents radionucléides, pour N chambres d'ionisation différentes du premier type (chambre de
- 20 l'activimètre CRC15 de chez Capinec), dans le cas d'un conditionnement en seringue plastique de 2 cm³.

Sur toutes les figures, les mêmes repères désignent les mêmes éléments.

25

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTION

La mise en œuvre du procédé de détermination de facteur d'ajustement requiert trois

30 phases principales :

- une première phase consiste à mesurer expérimentalement l'ensemble chambre d'ionisation-source(s) radioactive(s) étalon(s),
- une deuxième phase consiste à modéliser l'ensemble chambre d'ionisation-source(s) radioactives(s) étalon(s) et à simuler la réponse de l'installation en fonction de l'énergie pour le rayonnement photonique et/ou photonique émis par la (les) source(s) étalon(s), et
- une troisième phase consiste à évaluer le facteur d'ajustement et à valider la simulation par confrontation des résultats expérimentaux et de simulation.

En terme de structure, les moyens essentiels nécessaires à la mise en œuvre du procédé de détermination de facteur d'ajustement de chambre d'ionisation sont :

- une chambre d'ionisation et un électromètre ou un activimètre ;
- une source étalon d'ajustement ;
- au moins une source étalon de validation ;
- un ordinateur ou une station de calcul.

La géométrie, la composition et la densité des matériaux de la chambre d'ionisation et des sources étalons doivent être connues. Les dimensions géométriques de la chambre d'ionisation peuvent, par exemple, être déterminées par radiographie.

La nature du gaz emplissant la chambre d'ionisation peut influencer sur le choix de la nature et du nombre des sources étalons. En effet, l'allure de la

réponse de la chambre d'ionisation est fonction non seulement de l'énergie des rayonnements détectés mais également de la nature du gaz de remplissage de la chambre. La réponse expérimentale de la chambre d'ionisation est définie ici comme le rapport entre le courant d'ionisation mesuré et l'activité A de la source. La courbe de réponse de la chambre d'ionisation en fonction de l'énergie du rayonnement est une fonction qui est monotone dans le cas de l'azote (cf. figure n°1) et qui est non monotone dans le cas de l'argon (cf. figure n°2), ces deux gaz étant les gaz de remplissage les plus couramment rencontrés.

La figure 1 représente une réponse de chambre d'ionisation Vinten 671 remplie d'azote pour des solutions radioactives HCl 0,1M de 5 ml conditionnées dans des ampoules en verre et la figure 2 représente une réponse de chambre d'ionisation prototype remplie d'argon pour des solutions radioactives HCl 0,1M de 5 ml conditionnées dans des ampoules en verre

Quelle que soit la nature du gaz de remplissage de la chambre, le radionucléide ^{60}Co peut être utilisé comme source étalon pour l'évaluation du facteur d'ajustement des rayonnements photoniques.

Par ailleurs, d'autres sources sont nécessaires pour la validation de la modélisation et de la simulation de la réponse en fonction de l'énergie de la chambre d'ionisation pour les rayonnements photoniques. Notamment, dans le cas d'une chambre d'ionisation remplie d'azote, une source supplémentaire comme le ^{133}Ba (de période longue) peut, par exemple,

être utilisée. Dans le cas d'une chambre d'ionisation remplie d'argon, deux sources supplémentaires telles que le ^{133}Ba et le ^{57}Co peuvent également être utilisées. En effet, les principales raies gamma d'émission de cette dernière source se situent vers la zone au sein de laquelle un point d'inflexion minimum est attendu (aux environs de 125 keV). Les sources étalons doivent être caractérisées non seulement en niveau d'activité, mais également en taux d'impuretés.

Le transport du rayonnement au sein de la matière est de préférence assuré par un code de Monte Carlo comme, par exemple, le code PENELOPE, le code MCNP, le code MCNPX, le code EGS4, le code GEANT, etc., tous ces codes étant reconnus internationalement et régulièrement mis à jour. Néanmoins, le code PENELOPE présente l'avantage par rapport aux autres codes de pouvoir simuler des électrons d'énergie inférieure à 1 keV.

Lorsqu'un blindage est associé à la chambre d'ionisation par le constructeur de la chambre, il doit être également modélisé. Si le blindage se trouve sur le site d'installation de la chambre d'ionisation et s'il est en plomb, alors une alternative à sa modélisation est d'intercaler un écran de cuivre entre le blindage de plomb et la chambre d'ionisation afin de maintenir un niveau de précision d'étalonnage de la chambre inférieur à $\pm 10\%$. En effet, des rayons X de fluorescence du plomb, provenant de l'excitation du plomb par des rayons γ de forte énergie émis par la source de rayonnements introduite dans la chambre d'ionisation, peuvent être détectés par la chambre

d'ionisation. L'écran de cuivre permet d'absorber les rayons X de fluorescence du Plomb, sachant que les rayons X de fluorescence du cuivre, d'énergie inférieure à ceux du plomb, sont absorbés par
5 l'enceinte externe de la chambre.

Le montage de la chaîne métrologique, les tests de linéarité et de reproductibilité ainsi que les conditions d'utilisation et de maintenance sont réalisés conformément aux normes internationales CEI
10 61145 dans le cas des chambres d'ionisation et conformément aux normes française NF EN 61303 et internationale CEI 1303 dans le cas des activimètres (cf. références (G) et (H)).

De façon générale, le procédé de
15 détermination de facteur d'ajustement de l'invention comprend une étape de mesure de courants d'ionisation, une étape de calcul de coefficients d'étalonnage expérimentaux, une étape de modélisation et de simulation de la chambre d'ionisation et des sources
20 étalons, une étape de calcul de courants par unité d'activité, une étape de calcul de facteurs d'ajustement photonique et/ou électronique et une étape de validation des facteurs d'ajustement.

La figure 3 représente un organigramme du
25 procédé de détermination de facteur d'ajustement de chambre d'ionisation, pour un type de rayonnement donné, selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention. Le rayonnement peut être un rayonnement photonique (X ou γ) ou un rayonnement électronique
30 (électrons ou rayons β). Pour la détermination d'un facteur d'ajustement « photonique », les sources

radioactives étalons doivent émettre un rayonnement essentiellement photonique et, pour la détermination d'un facteur d'ajustement « électronique », les sources radioactives étalons doivent émettre un rayonnement
5 essentiellement électronique. L'ensemble des variables et paramètres mentionnés sur la figure 3 concerne ainsi soit un rayonnement électronique, soit un rayonnement photonique. C'est la raison pour laquelle, ces variables et paramètres ne sont pas indicés « el » ou
10 « ph ». Le facteur d'ajustement P^{ajust} désigne en conséquence soit P_{el}^{ajust} soit P_{ph}^{ajust} et il en est de même pour l'ensemble des autres variables et paramètres.

L'étape 1 de mesure de courants d'ionisation comprend une mesure de courant d'ionisation d'ajustement I^{ajust} associé à une source radioactive étalon d'ajustement et au moins une mesure de courant d'ionisation de validation I^i ($i=1, 2, \dots, n$) associé à une source radioactive étalon de validation i . Ces courants expérimentaux sont avantageusement
20 égaux aux courants délivrés par la chambre multipliés par le gain de l'électronique associée à la chambre, qu'elle soit interne ou externe. Ce gain électronique est d'autant plus important que la plupart des activimètres présentent la possibilité d'ajuster la
25 valeur lue du courant par un gain électronique appliqué au courant directement délivré par la chambre. Il est à noter que dans l'article (A. de Vismes et M. N. Amiot, 2003/(cf. référence. (0)), le courant expérimental comparé au courant calculé par simulation correspond au
30 courant directement délivré par la chambre (c'est à dire sans amplification électronique). En effet, il est

précisé dans l'article que l'électromètre mesure directement les charges collectées à la sortie de la chambre.

Les coefficients d'étalonnage relatifs aux
5 deux ou trois (voire plus) natures de sources sélectionnées suivant la nature de la chambre d'ionisation sont alors déduits des mesures de courant (étape 2).

Le coefficient d'étalonnage relatif à la
10 source étalon d'ajustement $C_{\text{exp}}^{\text{ajust}}$ est calculé selon la formule :

$$C_{\text{exp}}^{\text{ajust}} = I^{\text{ajust}}/A^{\text{ajust}},$$

où I^{ajust} est le courant d'ionisation d'ajustement mesuré (exprimé en pA) et A^{ajust} l'activité de la source étalon
15 d'ajustement (exprimée en MBq), laquelle activité est une grandeur connue donnée par le certificat d'étalonnage de la source étalon d'ajustement.

Le(s) coefficient(s) d'étalonnage associé(s) à la (aux) source(s) étalon(s) de validation
20 est (sont) également calculé(s) par la formule :

$$C_{\text{exp}}^i = I^i/A^i,$$

où I^i est le courant d'ionisation de validation de la source étalon i (exprimé en pA) et A^i l'activité de la source étalon de validation (exprimée en MBq), laquelle
25 activité est une grandeur connue donnée par le certificat d'étalonnage de la source étalon de validation.

La modélisation et la simulation de l'installation de mesure sont par ailleurs effectuées
30 (étape 3). La modélisation de l'installation de mesure

(étape 3(a)) est réalisée au format du code de Monte Carlo choisi. De façon connue en soi, la modélisation des fichiers d'entrée du code de Monte Carlo nécessite de connaître :

- 5 - la géométrie de la chambre d'ionisation (incluant éventuellement le blindage), des conditionnements et des matrices des sources ;
- les matériaux constitutifs de la chambre d'ionisation (la valeur de pression du gaz de remplissage est celle délivrée par le constructeur),
- 10 des matrices et des conditionnements des sources;
- les paramètres propres au code de calcul utilisé (énergies de coupure, etc.).

La simulation de la réponse de l'installation de mesure en fonction de l'énergie est alors effectuée (étape 3(b)) pour chaque source étalon.

La réponse de l'installation de mesure R est, par définition, l'énergie déposée dans le gaz de la chambre en fonction de l'énergie du rayonnement émis. Une réponse $R^{\text{ajust}}(E)$ est ainsi simulée pour

20 l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source étalon d'ajustement et une réponse $R^i(E)$ est simulée pour l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source étalon de validation i .

25 La simulation est effectuée pour des valeurs de rayonnement d'énergie échantillonnées de manière appropriée sur le domaine d'énergie d'émission photonique ou électronique des radionucléides concernés, puis, une ou plusieurs courbes sont ajustées

30 à ces points simulés afin d'obtenir la fonction de réponse de l'installation en tout point du domaine

énergétique. Si la matrice et le conditionnement de la source de validation sont identiques à ceux de la source étalon d'ajustement, alors $R^{ajust}(E)$ est égal à $R^i(E)$.

5 Par ailleurs, le spectre d'émission théorique du radionucléide de la source d'ajustement S^{ajust} et les spectres d'émission théoriques des radionucléides des sources de validation S^i sont calculés (étape 4).

10 Le courant par unité d'activité de la source étalon d'ajustement C_o^{ajust} et le courant par unité d'activité de chaque source étalon de validation i sont alors calculés. Il vient :

$$C_o^{ajust} = K \int_0^{E_{max}} S^{ajust}(E) R^{ajust}(E) dE, \text{ et}$$

15
$$C_o^i = K \int_0^{E_{max}} S^i(E) R^i(E) dE$$

Où la grandeur K est telle que :

$$K = e/W,$$

e étant la charge de l'électron (exprimée en coulomb) et W étant l'énergie moyenne d'ionisation nécessaire pour la création d'une paire d'ions (exprimée en eV),
 20 et E_{max} est l'énergie maximale d'intérêt, par exemple 4Mev. Dans le cas de mesures effectuées sur un radionucléide isolé, l'énergie E_{max} est l'énergie la plus élevée émise par le radionucléide et, dans le cas
 25 de mesures effectuées sur un ensemble de radionucléides, l'énergie E_{max} est l'énergie la plus élevée prise parmi les énergies les plus élevées émises par les différents radionucléides.

La grandeur K dépend du gaz qui emplit la chambre d'ionisation. Les quantités e et W sont connues. A titre d'exemples non limitatifs, dans le cas de l'azote, W est égal à $34,8 \pm 0,2$ eV et, dans le cas
5 de l'argon, W est égal à 26,4 eV (cf. document ICRU, rapport 31 (ICRU, 1979)/(cf. référence. (D))).

Il faut ici noter que, lorsque le spectre du radionucléide est un spectre de raies, il est également possible de calculer le courant par unité
10 d'activité comme la combinaison linéaire du spectre de raie et de la réponse de l'installation aux valeurs d'énergie d'émission considérées.

Une fois calculés les courants par unité d'activité, des facteurs d'ajustement sont calculés
15 (étape 6) sur la base des différents coefficients d'étalonnage expérimentaux calculés à l'étape 2 et des différents courants par unité d'activité calculés à l'étape 5.

Pour une source étalon donnée, un facteur
20 d'ajustement P s'écrit comme le rapport du coefficient d'étalonnage expérimental C_{exp} et du courant par unité d'activité simulé C_0 . Avantagusement, le facteur d'ajustement P n'est fonction que du type de chambre d'ionisation et de la nature du rayonnement considéré
25 (électronique ou photonique).

Le facteur P est ainsi une fonction de différents paramètres tels que, par exemple, la valeur de la capacité électronique, les incertitudes sur la valeur d'énergie moyenne d'ionisation nécessaire à la
30 création d'une paire d'ions et sur la valeur de pression du gaz de remplissage. Tous ces paramètres ne

font que traduire, suivant l'axe des ordonnées, la courbe de réponse d'une chambre d'ionisation en fonction de l'énergie. Il vient :

- $P^{ajust} = C_{exp}^{ajust}/C_o^{ajust}$, pour la source radioactive
5 étalon d'ajustement, et
- $P^i = C_{exp}^i/C_o^i$, pour la source étalon de validation
i (i=1, 2, ..., n).

La validation du procédé pour chaque matrice ou conditionnement s'effectue alors avec au
10 moins une source étalon de validation (étape 7).

Pour au moins une source étalon de validation, l'écart normalisé Δ_i entre P^{ajust} et P^i est calculé. Il vient :

$$\Delta_i = \left| P^{ajust} - P^i \right| / P^{ajust}$$

15 De façon préférentielle, la quantité Δ_i est calculée pour toutes les sources étalons de validation pour lesquelles des mesures de courant d'ionisation ont été faites (i=1, 2, ..., n).

L'incertitude élargie $U(\Delta_i)$ (à k=3) sur
20 l'évaluation de l'écart Δ_i est également calculée. Il vient :

$$U(\Delta_i) = 3 (1+\Delta_i) \sqrt{\left(\sigma(P^{ajust})/P^{ajust}\right)^2 + \left(\sigma(P^i)/P^i\right)^2}, \text{ où}$$

 $\sigma(P^{ajust})$ et $\sigma(P^i)$ sont, respectivement, les incertitudes composées des facteurs d'ajustement P^{ajust} et P^i .

25 La valeur du facteur P^{ajust} est considérée comme validée (étape 8) si les écarts Δ_i sont inférieurs ou égaux aux valeurs d'incertitudes élargies sur ces écarts $U(\Delta_i)$, c'est-à-dire si, pour toute

valeur de i ($i=1, 2, \dots, n$) la relation suivante est vérifiée :

$$\Delta_i \leq U(\Delta_i)$$

De façon préférentielle, la quantité $U(\Delta_i)$ doit rester inférieure à la limite préconisée par la norme CEI 61145, à savoir $\pm 10\%$ à $k=3$.

Avantageusement, la validation du facteur d'ajustement P^{ajust} (respectivement P_{ph}^{ajust} pour le rayonnement photonique et P_{el}^{ajust} pour le rayonnement électronique) valide du même coup la modélisation de la chambre d'ionisation et des sources étalons ainsi que les simulations des réponses associées aux différents échantillons concernés, à savoir R^{ajust} et les R^i ($i=1, 2, \dots, n$). Sont également validées, pour le rayonnement concerné, les simulations de réponse de toute nouvelle installation de mesure constituée d'une chambre d'ionisation du type de celle concernée par la modélisation et d'une nouvelle source se présentant sous la forme d'une matrice et d'un conditionnement ayant fait l'objet d'une modélisation.

Dans le cas contraire (facteur d'ajustement non validé), le procédé réitère l'opération de modélisation et/ou de simulation (retour à l'étape 3). Il convient alors, par exemple, de vérifier si une erreur n'a pas été introduite dans les modélisations de la chambre et des sources étalons ainsi que dans les paramètres de simulation du code et/ou d'effectuer les calculs à l'aide du code PENELOPE si celui-ci n'a pas été utilisé.

Le procédé de détermination de facteur d'ajustement de l'invention permet la détermination,

par calcul, du coefficient d'étalonnage C_{sim}^{SM} (pA/MBq) de toute source radioactive à mesurer qui, placée dans une chambre d'ionisation du type de celle qui a fait l'objet d'une modélisation, émet un rayonnement de même nature que celui émis par les sources étalons. L'organigramme de ce procédé est représenté en figure 4. L'ensemble des variables et paramètres mentionnés sur la figure 4 concerne soit un rayonnement électronique, soit un rayonnement photonique. C'est la raison pour laquelle, ces variables et paramètres ne sont pas indicés « el » ou « ph ». Le coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SM} désigne en conséquence soit $C_{sim/el}^{SM}$ soit $C_{sim/ph}^{SM}$ et il en est de même pour l'ensemble des autres variables et paramètres.

La source à mesurer SM est caractérisée par une matrice et un conditionnement qui lui sont propres. Le procédé requiert tout d'abord de savoir si la modélisation de la matrice et du conditionnement de la source SM a déjà été validée (étape 9(a)).

Si la modélisation de la matrice et du conditionnement de la source SM a déjà été validée, le procédé requiert de savoir si la réponse de l'installation de mesure est connue (étape 9(b)), c'est-à-dire si la réponse $R^{SM}(E)$ de l'installation en fonction de l'énergie a déjà été déterminée et validée pour le type de matrice et le type de conditionnement de la source à mesurer. Si la réponse de la chambre a déjà été déterminée et validée, le spectre d'émission théorique S^{SM} des radionucléides de la source à mesurer est calculé (étape 10) et il y a détermination du

courant par unité d'activité simulé C_o^{SM} de la source à mesurer (étape 11). Il vient alors :

$$C_o^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S^{SM}(E) R^{SM}(E) dE$$

où K la grandeur (e/W) définie précédemment, $S^{SM}(E)$ le spectre d'émission théorique de la source à mesurer et $R^{SM}(E)$ la réponse connue de l'installation.

Le coefficient d'étalonnage simulé de la source à mesurer s'écrit alors (étape 12):

$$C_{sim}^{SM} = C_o^{SM} \times p^{ajust}$$

où p^{ajust} est le facteur d'ajustement calculé précédemment (cf. figure 3).

Si la réponse de l'installation de mesure n'est pas connue, c'est-à-dire si la réponse $R^{SM}(E)$ n'a pas été déterminée et validée pour le type de matrice et le type de conditionnement de la source à mesurer, une simulation de la réponse de l'installation en fonction de l'énergie pour les rayonnements considérés est effectuée (étape 9(c)). L'étape 9(c) correspond aux étapes 13, 14(b), 15, 16, 17 et 18 qui sont détaillées dans la suite de ce document. La réponse de l'installation de mesure est en conséquence déterminée et les étapes 10, 11 et 12 mentionnées précédemment sont mises en œuvre.

Si la modélisation de la matrice source et/ou du conditionnement de la source à mesurer SM n'a pas été validée, ce qui se produit lors d'un changement de matrice et/ou de conditionnement, il est nécessaire de valider ceux-ci.

La mesure et la modélisation d'au moins une source étalon supplémentaire SE de matrice et de conditionnement identiques à la source à mesurer et de rayonnement électronique et/ou photonique doivent alors être effectuées. La mesure de la source étalon supplémentaire SE (étape 13) conduit à l'obtention d'un courant d'ionisation mesuré I^{SE} relatif à la source étalon supplémentaire et au calcul d'un coefficient d'étalonnage expérimental C_{exp}^{SE} pour la source étalon supplémentaire sous la forme :

$$C_{exp}^{SE} = I^{SE}/A^{SE},$$

où A^{SE} représente l'activité de la source étalon supplémentaire (grandeur connue).

Par ailleurs, une modélisation de la source étalon supplémentaire et une simulation de l'installation de mesure constituée de la chambre d'ionisation et de la source étalon supplémentaire sont mises en œuvre (étape 14). La modélisation de la source étalon supplémentaire (étape 14(a)) est réalisée au format du code de Monte Carlo choisi. La simulation de l'installation de mesure (étape 14(b)) conduit à déterminer la réponse $R^{SE}(E)$ de l'installation. Le spectre d'émission théorique $S^{SE}(E)$ de la source étalon supplémentaire est alors calculé (étape 15) et le courant par unité d'activité de la source étalon supplémentaire C_o^{SE} est déterminé (étape 16) par l'équation :

$$C_o^{SE} = K \int_0^{E_{max}} S^{SE}(E) R^{SE}(E) dE$$

Le coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SE} de la source étalon supplémentaire est ensuite calculé (étape 17). Il vient :

$$C_{sim}^{SE} = C_o^{SE} \times P^{ajust}$$

5 où P^{ajust} est le facteur d'ajustement déterminé précédemment.

Ici aussi, la source étalon supplémentaire SE étant de matrice et de conditionnement identiques à la source à mesurer SM, il vient, quel que soit le type
10 de rayonnement considéré :

$$R^{SE}(E) = R^{SM}(E)$$

Une étape de validation de la modélisation et de la simulation de la source à mesurer est mise en œuvre (étape 18).

15 Soit Δ_C l'écart normalisé entre C_{exp}^{SE} et C_{sim}^{SE} et $U(\Delta_C)$ l'incertitude élargie (à $k=3$) sur l'évaluation de l'écart Δ_C , il vient :

$$\Delta_C = \left| C_{exp}^{SE} - C_{sim}^{SE} \right| / C_{exp}^{SE}, \text{ et}$$

$$U(\Delta_C) = 3 (1 + \Delta_C) \sqrt{\left(\sigma(C_{exp}^{SE}) / C_{exp}^{SE} \right)^2 + \left(\sigma(C_{sim}^{SE}) / C_{sim}^{SE} \right)^2}, \text{ où}$$

20 $\sigma(C_{exp}^{SE})$ et $\sigma(C_{sim}^{SE})$ sont, respectivement, les incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs C_{exp}^{SE} et C_{sim}^{SE} .

Si la valeur de l'écart Δ_C est inférieure ou égale à la valeur de l'incertitude élargie $U(\Delta_C)$, le
25 coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SE} est considéré comme validé ainsi que la modélisation de la source à mesurer et la simulation de la réponse associée (étape 19). De façon préférentielle, la quantité $U(\Delta_C)$ doit

rester inférieure à la limite préconisée par la norme CEI 61145, à savoir $\pm 10\%$ à $k=3$.

Le calcul du coefficient d'étalonnage simulé est alors effectué comme cela a été mentionné ci-dessus et les étapes 10, 11 et 12 sont mises en œuvre. A l'étape 11, le courant par unité d'activité simulé de la source à mesurer est donné par la formule :

$$C_o^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S^{SM}(E) R^{SM}(E) dE \quad (R^{SM}(E) = R^{SE}(E))$$

Dans le cas où la validation de la modélisation et de la simulation de la source étalon supplémentaire n'est pas effectuée, le procédé réitère la modélisation de la source étalon supplémentaire (étape 14(a)) et/ou la simulation de l'installation de mesure (étape 14(b)). Il convient alors, par exemple, de vérifier la modélisation de la source étalon supplémentaire et/ou d'effectuer les calculs à l'aide du code PENELOPE, au cas où celui-ci n'aurait pas été utilisé.

Les coefficients d'étalonnage validés correspondent à des échantillons de type de matrice et de type de conditionnement donnés, la matrice de l'échantillon ayant un volume donné. Avantageusement, la validation expérimentale sur un seul volume suffit. Les coefficients d'étalonnage pour d'autres volumes de matrice sont alors déterminés à l'aide de la simulation. La validation de la modélisation des échantillons de différents volumes se fait par la visualisation graphique de la géométrie modélisée à l'aide du code de transport des rayonnements.

La figure 5 représente, de façon générale, les principales étapes d'un procédé de détermination de coefficient d'étalonnage de source radioactive à mesurer émettant un rayonnement photonique et/ou un rayonnement électronique, selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention.

Tout d'abord, un facteur d'ajustement est calculé pour chaque type de rayonnement émis par la source. Sont ainsi calculés (étape 20) un facteur d'ajustement photonique P_{ph}^{ajust} pour le rayonnement photonique et/ou un facteur d'ajustement électronique P_{el}^{ajust} pour le rayonnement électronique. Le calcul du (des) facteur(s) d'ajustement est effectué selon le procédé décrit en figure 3.

La question est ensuite posée de savoir si la réponse R_{ph}^{SM} de l'installation de mesure pour le rayonnement photonique et/ou la réponse R_{el}^{SM} de l'installation de mesure pour le rayonnement électronique est (sont) connue(s) (étape 21). Dans l'affirmative, le spectre théorique d'émission photonique de la source à mesurer S_{ph}^{SM} et/ou le spectre théorique d'émission électronique de la source à mesurer S_{el}^{SM} sont calculés aux étapes respectives 22 et 23. Les données nucléaires pour déterminer les spectres d'émission du radionucléide de la source à mesurer peuvent être consultées, par exemple, dans la base Nucléide (Bé et al./ (cf. référence. (B)). Pour une émission de particules β , les spectres d'émission électronique peuvent également être calculés à partir de programmes de calcul de spectre β proposés par certains codes de Monte-Carlo comme, par exemple, les

codes GEANT et PENELOPE. Ceci est une étape supplémentaire par rapport à la méthode expliquée pour les photons seuls dans l'article (A. de Vismes et M. N. Amiot, 2003/(cf. référence. (O))). Contrairement à la
 5 méthode proposée dans l'article (A. de Vismes et M. N. Amiot, 2003/(cf. référence. (O))), la présente invention s'applique aux radionucléides émetteurs d'électrons et de photons et aux radionucléides émetteurs bêta purs.

Les courants par unité d'activité sont
 10 ensuite déduits (étape 24). Il vient :

$$C_{o/ph}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{ph}^{SM}(E) R_{ph}^{SM}(E) dE, \quad \text{pour le}$$

rayonnement photonique, et/ou

$$C_{o/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}^{SM}(E) dE, \quad \text{pour le}$$

rayonnement électronique.

15 Les coefficients d'étalonnage sont ensuite calculés (étape 25) :

$$C_{sim/ph}^{SM} = C_{o/ph}^{SM} \times P_{ph}^{ajust}, \quad \text{pour une source}$$

dont le rayonnement est exclusivement photonique, ou

$$C_{sim/el}^{SM} = C_{o/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust}, \quad \text{pour une source}$$

20 dont le rayonnement est exclusivement électronique, ou

$$C_{sim}^{SM} = C_{o/ph}^{SM} \times P_{ph}^{ajust} + C_{o/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust},$$

pour une source dont le rayonnement est photonique et électronique.

Dans le cas où les réponses R_{ph}^{SM} et R_{el}^{SM} de
 25 l'installation de mesure ne sont pas connues, il faut déterminer ces réponses (étape 26). Il est alors nécessaire de modéliser la matrice et/ou le conditionnement de la source à mesurer. Les étapes 13, 14, 15, 16, 17, 18 et 19 décrites ci-dessus en

référence à la figure 4 sont alors mises en œuvre. La (Les) source(s) étalon(s) qui permet(tent) la validation de la réponse de la chambre d'ionisation a (ont) alors la même matrice et le même conditionnement
5 que ceux de la source à mesurer. La (Les) source(s) étalon(s) émet(tent) soit uniquement des photons, soit uniquement des électrons. Une fois les réponses R_{ph}^{SM} et/ou R_{el}^{SM} obtenues, le procédé se poursuit par les étapes 22, 23, 24 et 26, comme cela est mentionné ci-
10 dessus.

L'application de l'invention à des sources dont les radionucléides émettent à la fois des rayonnements photonique et électronique va maintenant être précisée.

15 En premier lieu seront considérés les radionucléides émettant des rayonnements X et/ou γ de forte énergie et des rayonnements d'électrons et/ou β , soit d'énergie inférieure à 800 keV, soit d'intensité d'émission inférieure à 1% de l'intensité totale émise.
20 Dans ces conditions, les rayonnements d'électrons et/ou β sont considérés comme négligeables, car les chambres d'ionisation sont alors peu sensibles aux électrons. Le facteur d'ajustement considéré n'est alors que le facteur d'ajustement photonique P_{ph}^{ajust} .

25 Il en est de même pour les radionucléides se désintégrant par capture électronique suivie d'émission X et/ou γ , ou par émission β^+ et par émission β^- suivies d'émission X et/ou γ . C'est le cas, par exemple, pour les radionucléides suivants : ^{109}Cd ,
30 ^{133}Ba , ^{210}Pb , ^{67}Ga , ^{123}I , ^{125}I , ^{129}I , ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{57}Co ,

^{51}Cr , ^{139}Ce , ^{85}Sr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{59}Fe , ^{111}In ,
 ^{201}Tl , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{18}F , ^{22}Na , ^{88}Y

La valeur d'énergie d'environ 800keV mentionnée ci-dessus dépend du type de chambre
5 considéré. Elle concerne la plupart des types de chambres et elle est commune à toutes les chambres du même type. La simulation du type de chambre d'ionisation considéré permet de calculer la réponse de la chambre aux électrons afin d'évaluer la contribution
10 du rayonnement β par rapport à celle des rayonnements X et γ .

La figure 6 représente un dispositif pour la mise en œuvre du procédé de l'invention. Le dispositif comprend essentiellement une chambre
15 d'ionisation CH, un dispositif de mesure de courant 35 et un ordinateur ou une station de calcul 40.

La chambre d'ionisation CH, en forme de cylindre creux, comprend des électrodes 27 placées à l'intérieur d'un blindage métallique 28 pouvant lui-même être entouré d'un blindage en plomb (non
20 représenté sur la figure). Les électrodes 27 sont reliées à une haute tension 30. Un échantillon radioactif 31 qui émet, par exemple, un rayonnement de photons ph est placé, à l'aide d'un porte échantillon
25 32, dans le puits formé par le creux du cylindre de la chambre d'ionisation. L'échantillon radioactif est caractérisé par sa matrice (eau, résine, poudre, etc.) et par son conditionnement 33 (ampoule, flacon, seringue, gélule, etc.). Un gaz 34 est présent dans la
30 chambre CH. Sous l'action des photons ph émis par l'échantillon radioactif 31, le gaz 34 est ionisé et

des électrons e^- sont émis. Les électrons émis sont collectés par les électrodes 27 pour former un courant I. Le courant I détecté est mesuré par l'électromètre 35. Selon la nature de l'échantillon, le courant I mesuré est le courant I^{ajust} , ou le courant I^i ($i=1, 2, \dots, n$), ou le courant I^{SE} .

Les données de courant I sont transmises à l'ordinateur 29 qui reçoit, par ailleurs, les données A^{ajust} , A^i ($i=1, 2, \dots, n$), A^{SE} , A^{SM} qui représentent l'activité des sources, les données M de modélisation et de simulation de la chambre d'ionisation et des sources étalons, les données CT qui représentent le code de transport de type Monte Carlo utilisé et les données de spectre Sp^{ajust} , Sp^i ($i=1, 2, \dots, n$), Sp^{SE} , Sp^{SM} .

La figure 7 représente des dispersions de valeurs de coefficients d'étalonnage pour différents radionucléides, pour N chambres d'ionisation différentes d'un premier type (chambre de l'activimètre CRC15 de chez Capinec). Pareillement, la figure 8 représente des dispersions de valeurs de coefficients d'étalonnage obtenues pour différents radionucléides, pour N chambres d'ionisation différentes d'un deuxième type (chambre de l'activimètre Medi 404 de chez Médisystem). Dans les deux cas, les échantillons sont conditionnés dans des flacons en verre Cis-Bio et les solutions d'un même radionucléide sont de productions différentes, ce qui implique des taux d'impureté différents. Les radionucléides concernés sont, par exemple, ^{67}Ga , $^{99}\text{Tc}^m$, ^{111}In , ^{123}I , ^{131}I , ^{201}Tl , ^{18}F .

Dans les deux cas (figures 7 et 8), il apparaît que la dispersion des coefficients d'étalonnage est avantageusement comprise dans une fourchette de $\pm 5\%$. Il faut ici noter que la dispersion des coefficients d'étalonnage observée sur les figures 7 et 8 comprend non seulement la variabilité de fabrication des chambres d'ionisation et des conditionnements d'échantillons mais également celle des taux d'impureté présents dans les échantillons mesurés.

Pour le niveau d'incertitude inférieur à 10% requis par la norme CEI 61145, il peut être avantageusement constaté que les calculs des coefficients d'étalonnage effectués dans le cadre de l'invention sont applicables à toutes les chambres de même référence constructeur, référence pour laquelle la mise en place a été réalisée. La reproductibilité de la construction des chambres d'ionisation le permet.

On remarque, notamment sur la figure 8, une dispersion plus importante des coefficients d'étalonnage du radionucléide ^{123}I et du radionucléide ^{201}Tl . Alors que la dispersion du radionucléide ^{123}I est principalement imputable aux variabilités de construction des chambres et des conditionnements d'échantillons (variabilités auxquelles les photons émis par le radionucléide ^{123}I de faible énergie sont particulièrement sensibles), la dispersion du radionucléide ^{201}Tl est principalement due à la présence de taux d'impuretés différents.

Le procédé de l'invention permet avantageusement de déterminer par simulation les

coefficients d'étalonnage des impuretés radioactives contenues dans l'échantillon à mesurer pour lesquelles la mesure expérimentale pose de grandes difficultés (impossibilité d'isoler le radionucléide, période très
5 courte, rareté du radionucléide, ...). Ceci est particulièrement important dans le cas de l'étalonnage en ^{201}Tl . En effet, lors de son mode de production, ce radionucléide est toujours accompagné de ^{202}Tl et ^{200}Tl avec des taux d'impureté de l'ordre de quelques pour
10 cent. Or les ^{202}Tl et ^{200}Tl possèdent un spectre d'énergie photonique bien différent de celui du ^{201}Tl auquel la chambre est plus sensible. La réponse de la chambre est environ 5 à 15 fois plus élevée respectivement pour ces deux radionucléides que pour le
15 ^{201}Tl . Par conséquent, la contribution de chacune des impuretés est plus élevée que chacun des taux d'impureté déterminé par le fabricant, quand il le renseigne. Or ces taux varient d'une fabrication à l'autre, par conséquent les conditions d'étalonnage
20 pour ce radionucléide ne sont quasiment jamais identiques à celles de la mesure. Ceci conduit communément à des erreurs de l'ordre de 5 % à $k = 3$.

Lorsque les taux d'impuretés sont renseignés pour une date précise par les fournisseurs
25 de sources, le procédé de l'invention permet, à partir de la connaissance du coefficient d'étalonnage simulé, de déduire les coefficients d'étalonnage simulés des impuretés. Il est alors possible de connaître le coefficient d'étalonnage corrigé des impuretés.

30 La figure 9 représente des dispersions de valeurs de coefficients d'étalonnage obtenues pour

différents radionucléides, pour N chambres d'ionisation différentes du premier type (chambre de l'activimètre CRC15 de chez Capintec), dans le cas d'un conditionnement en seringue plastique de 2 cm³. Les
5 seringues utilisées présentent une variabilité de fabrication suffisamment faible pour que le procédé d'étalonnage mis en place sur une seringue pour un type de chambre d'ionisation ou d'activimètre puisse être appliqué à toutes les seringues de la même référence
10 constructeur, pour toutes les chambres d'ionisation ou activimètre d'une même référence constructeur.

Références

- (A) Amiot, M.N., 2004, Ionization chamber activity measurement of ^{18}F , ^{111}In , ^{123}I and $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ using the Penelope Ionization Chamber Simulation Method. Appl. Radiat. and Isot. 60 (2-4) p 529-533, (2004)
- (B) Bé et al., NUCLEIDE, Table de Radionucléide sur CD-Rom, Version 1-98-19/12/1998, CEA/DAMRI, 91191 Gif-sur-Yvette, France.
- (C) Gostely, J.-J. and Laedermann, J.-P., 2000. Simulation of the response of the IG11 $4\pi\gamma$ ionization chamber using GEANT Monte Carlo code. Appl. Radiat. Isot. 52 (3), 447-453
- (D) ICRU Report 31, 1979. International Commission on Radiation Units and Measurements. p. 28.
- (E) Laedermann, J.P., Valley J.F., Bulling, S., O. Bochud, F. 2004, Monte Carlo calculation of the sensitivity of a commercial dose calibrator to gamma and beta radiation. Med. Phys. 31 (6) juin 2004.
- (F) Norme Internationale - CEI 61145, Première édition - « Etalonnage et utilisation de systèmes à chambre d'ionisation pour le dosage des radionucléides » - 1992-05
- (G) Norme Internationale - International standard, CEI - IEC 61303, Première édition - First

edition. « Appareils électromédicaux - Calibrateurs de radionucléides - Méthodes particulières pour décrire les performances - Medical electrical equipment - Radionuclide calibrators - Particular methods for
5 describing performance », 1994-09.

(H) Norme européenne NF EN 61303
« Appareils électromédicaux - Calibrateurs de radionucléides - Méthodes particulières pour décrire
10 les performances » Mai 1995.

(I) Olsovcova, V. 2004 Activity measurements with radionuclides calibrators in the Czech Republic, Appl. Radiat. Isot. 60 (2004) P 535
15

(J) Oropesa P., Hernandez, A.T., Serra, R. Martinez E. and Valera, C. 2003, Comparison of activity measurements with radionuclide calibrators, Appl. Radiat. Isot. 59 (2003), P 383.
20

(K) Salvat, F., Fernandez-varea, J.-M., Acosta, E. and Sempau, J., 2001. PENELOPE - A code system for MonteCarlo Simulation of electron and photon transport, Proceedings of workshop/training Course,
25 OECD/NEA 5-7 November 2001, NEA/NSD/DOC(2001)1-, ISBN:92-64-18475-9.

(L) Szoerényi A. and Vágvölgyi, J., and Zsinka A., 1998, Experiences of fifteen years on
30 metrological supervision of radionuclide calibrators

used in nuclear medicine, Appl. Radiat. Isot. 49 (1998)
P. 1459.

(M) Suzuki, H., Sibaike, K., Hashimoto, H.,
5 Kawada, Y. and Hino, Y., 1998. Analysis of 4pg
ionisation chamber response using EGS4 Monte Carlo
code. Appl. Radiat. Isot. 49 (9-11), 1245-1249

(N) Tyler, D.K., et Woods, M.J., 2003.
10 Syringe calibration factors for the NPL Secondary
Standard Radionuclide Calibrator for selected medical
radionuclides. Appl. Radiat. Isot. 59 (2003) p 367-372.

(O) de Vismes, A., et Amiot, M.N., 2003.
15 Towards absolute activity measurements by ionisation
chambers using Penelope Monte-Carlo code, Appl. Radiat.
and Isot. 59/4 pp 267-272, (2003)

(P) Zimmerman, B.E., et Cessna, J.T., 2000.
20 Experimental determinations of commercial 'dose
calibrator' settings for nuclides used in nuclear
medicine. Appl. Radiat. Isot. 52 (3), p 615-619.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détermination d'au moins un facteur d'ajustement électronique (P_{el}^{ajust}) de chambre d'ionisation (CH) contenant un gaz, caractérisé en ce qu'il comprend :
- une étape de modélisation de la chambre d'ionisation et d'au moins une source radioactive étalon de matrice et de conditionnement donnés (3(a), 10 14(a)) émettant un rayonnement électronique,
 - une étape de simulation (3(b), 14(b)) pour déterminer, à partir d'un code de transport de rayonnement électronique dans la matière, une réponse simulée (R_{el}^{ajust} , R_{el}^i), en fonction de l'énergie, de 15 l'installation constituée de la chambre d'ionisation (CH) et de la source radioactive étalon,
 - une étape de calcul (4) du spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive étalon,
 - 20 - une étape de détermination de courant simulé par unité d'activité pour la source radioactive étalon ($C_{o/el}^{ajust}$, $C_{o/el}^i$) à partir de la réponse simulée (R_{el}^{ajust} , R_{el}^i) et du spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive étalon,
 - 25 - une étape de mesure d'un courant d'ionisation (I_{el}^{ajust} , I_{el}^i) associé à la source radioactive étalon,
 - une étape de détermination de coefficient d'étalonnage expérimental ($C_{exp/el}^{ajust}$, 30 $C_{exp/el}^i$) pour la source radioactive étalon à partir de la mesure du courant d'ionisation, et

- une étape de détermination du facteur d'ajustement électronique (P_{el}^{ajust}) sous la forme du rapport entre le coefficient d'étalonnage expérimental pour la source radioactive étalon et le courant simulé
 5 par unité d'activité pour la source radioactive étalon.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel un premier facteur d'ajustement électronique P_{el}^{ajust} de chambre d'ionisation est déterminé pour une
 10 première source radioactive étalon contenant un premier type de radionucléide, dite source étalon d'ajustement, et au moins un deuxième facteur d'ajustement électronique P_{el}^i de chambre d'ionisation est déterminé pour une deuxième source radioactive étalon contenant
 15 un deuxième type de radionucléide identique ou différent du premier type, dite source étalon de validation.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend, en outre, une étape de validation du premier facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} dans laquelle :

- une quantité $\Delta_{i/el}$ telle que :

$$\Delta_{i/el} = \left| P_{el}^{ajust} - P_{el}^i \right| / P_{el}^{ajust}$$

25 est calculée,

- une quantité $U(\Delta_{i/el})$ telle que :

$$U(\Delta_{i/el}) = 3 (1 + \Delta_{i/el}) \sqrt{\left(\sigma(P_{el}^{ajust}) / P_{el}^{ajust} \right)^2 + \left(\sigma(P_{el}^i) / P_{el}^i \right)^2}$$

est calculée, dans laquelle $\sigma(P_{el}^{ajust})$ et $\sigma(P_{el}^i)$ sont, respectivement, les incertitudes composées des facteurs
 30 d'ajustement P_{el}^{ajust} et P_{el}^i ,

- la quantité $\Delta_{i/el}$ est comparée à la quantité $U(\Delta_{i/el})$, et
- le premier facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} est validé si : $\Delta_{i/el} \leq U(\Delta_{i/el})$.

5

4. Procédé selon la revendication 3 dans lequel la quantité $U(\Delta_{i/el})$ à laquelle est comparée la quantité $\Delta_{i/el}$ a une valeur inférieure ou égale à $\pm 10\%$.

10

5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel, si $\Delta_{i/el}$ est supérieur à $U(\Delta_{i/el})$, le premier facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} n'est pas validé et le procédé est réitéré à partir de l'étape de modélisation (3(a), 14(a)) et/ou de simulation (3(b), 14(b)), avec

15 des modifications de paramètres (M, CT) aptes à modifier la réponse simulée de l'installation de mesure constituée de la chambre d'ionisation et de la source étalon, jusqu'à ce que la condition $\Delta_{i/el} \leq U(\Delta_{i/el})$ soit vérifiée.

20

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le courant simulé par unité d'activité d'une source étalon s'écrit :

25

$$C_{O/el} = K \int_0^{E_{\max}} S_{el}(E) R_{el}(E) dE$$

où :

- $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions,

30

- $E_{\max}$ est une énergie maximale d'intérêt,

- $S_{el}(E)$ est le spectre continu d'émission électronique théorique de la source étalon, et
- $R_{el}(E)$ est la réponse de l'installation de mesure constituée de la chambre d'ionisation et de la source étalon.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le code de transport est un code de Monte Carlo.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel le code de Monte Carlo est le code PENELOPE.

9. Procédé de détermination de coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$ de source radioactive à mesurer (SM) émettant un rayonnement électronique dans une chambre d'ionisation, caractérisé en ce que, la chambre d'ionisation ayant un facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} obtenu par un procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 8, la source radioactive à mesurer contenant un type donné de radionucléide et ayant une matrice et un conditionnement de types donnés, il comprend, si le type donné de matrice et le type donné de conditionnement de la source radioactive à mesurer sont respectivement identiques au type de matrice et au type de conditionnement d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} :

- une étape de calcul de courant simulé par unité d'activité $C_{O/el}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer, et

- une étape de calcul du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer de sorte que :

$$C_{sim/el}^{SM} = C_{o/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust}.$$

5

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel le courant simulé par unité d'activité $C_{o/el}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer est donné par la formule :

$$10 \quad C_{o/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}^{SM}(E) dE,$$

où :

- $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions,
- 15 - E_{max} est une énergie maximale d'intérêt,
- $S_{el}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission théorique continu de la source à mesurer, et
- $R_{el}^{SM}(E)$ est la réponse de l'installation de mesure constituée de la chambre d'ionisation et d'une source
- 20 étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} .

11. Procédé selon la revendication 9, dans lequel, si le type donné de matrice et/ou de

25 conditionnement de la source radioactive à mesurer est différent, respectivement, du type de matrice et/ou du type de conditionnement d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement P_{el}^{ajust} , il est requis de savoir si une modélisation de la matrice et

30 du conditionnement de la source radioactive à mesurer

est validée ou non, et si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée, il est requis de savoir si une simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue et, si une simulation de la réponse en fonction de l'énergie de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue, il y a :

- détermination d'un courant simulé par unité d'activité de la source radioactive à mesurer $C_{0/el}^{SM}$ de sorte que :

$$C_{0/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}(E) dE$$

où $S_{el}^{SM}(E)$ est le spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{el}(E)$ la simulation connue de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer, et

- détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$, de sorte que :

$$C_{sim/el}^{SE} = C_{0/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust}.$$

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel, si une modélisation de la matrice et du

conditionnement de la source radioactive à mesurer n'est pas validée, il comprend :

- une modélisation d'une source radioactive étalon supplémentaire (SE) de type de matrice et de type de conditionnement identiques à ceux de la source radioactive à mesurer (SM),
- une simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse ($R_{el}^{SE}(E)$) de l'installation de mesure constituée par la chambre d'ionisation et la source radioactive étalon supplémentaire (SE),
- une mesure de courant d'ionisation (I_{el}^{SE}) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,
- une détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{exp/el}^{SE}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,
- un calcul de la quantité Δ_C telle que :

$$\Delta_{C/el} = \left| C_{exp/el}^{SE} - C_{sim/el}^{SE} \right| / C_{exp/el}^{SE}$$

- un calcul de la quantité $U(\Delta_C)$ telle que :

$$U(\Delta_{C/el}) = 3 (1 + \Delta_{C/el}) \sqrt{\left(\sigma(C_{exp/el}^{SE}) / C_{exp/el}^{SE} \right)^2 + \left(\sigma(C_{sim/el}^{SE}) / C_{sim/el}^{SE} \right)^2},$$

où $\sigma(C_{exp/el}^{SE})$ et $\sigma(C_{sim/el}^{SE})$ sont, respectivement, les incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{exp/el}^{SE}$ et $C_{sim/el}^{SE}$,

- une comparaison de la quantité $\Delta_{C/el}$ avec la quantité $U(\Delta_{C/el})$, et
- si $\Delta_{C/el} \leq U(\Delta_{C/el})$, un calcul du courant simulé par unité d'activité $C_{0/el}^{SM}$ de la source à mesurer (SM) de sorte que :

$$C_{O/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}^{SE}(E) dE$$

où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{el}^{SM}(E)$ est le spectre continu d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{el}^{SE}(E)$ la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon supplémentaire, et

- une détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$, de sorte que :

$$C_{sim/el}^{SE} = C_{O/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust}$$

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel, si $\Delta_{C/el}$ est supérieur à $U(\Delta_{C/el})$, les calculs du courant par unité d'activité et du coefficient d'étalonnage simulé de la source radioactive à mesurer ne sont pas effectués et le procédé est réitéré à partir de l'étape de modélisation et/ou de simulation de la source radioactive étalon supplémentaire (SE), avec des modifications de paramètres (M, CT) jusqu'à ce que la condition $\Delta_{C/el} \leq U(\Delta_{C/el})$ soit obtenue.

14. Procédé selon la revendication 11, dans lequel, si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée et si la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de

conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer n'est pas connue, il y a :

- une simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse
5 $(R_{el}^{SE}(E))$ de l'installation de mesure constituée par la chambre d'ionisation et une source radioactive étalon supplémentaire (SE),
- une mesure de courant d'ionisation (I_{el}^{SE}) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,
- 10 - une détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{exp/el}^{SE}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,
- un calcul de la quantité Δ_C telle que :

$$15 \quad \Delta_{C/el} = \left| C_{exp/el}^{SE} - C_{sim/el}^{SE} \right| / C_{exp/el}^{SE}$$

- un calcul de la quantité $U(\Delta_C)$ telle que :

$$U(\Delta_{C/el}) = 3 (1 + \Delta_{C/el}) \sqrt{\left(\sigma(C_{exp/el}^{SE}) / C_{exp/el}^{SE} \right)^2 + \left(\sigma(C_{sim/el}^{SE}) / C_{sim/el}^{SE} \right)^2},$$

- où $\sigma(C_{exp/el}^{SE})$ et $\sigma(C_{sim/el}^{SE})$ sont, respectivement, les
20 incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{exp/el}^{SE}$ et $C_{sim/el}^{SE}$,

- une comparaison de la quantité $\Delta_{C/el}$ avec la quantité $U(\Delta_{C/el})$, et
- si $\Delta_{C/el} \leq U(\Delta_{C/el})$, un calcul du courant
25 simulé par unité d'activité $C_{O/el}^{SM}$ de la source à mesurer (SM) de sorte que :

$$C_{O/el}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{el}^{SM}(E) R_{el}^{SE}(E) dE$$

où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{el}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{el}^{SE}(E)$ la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon supplémentaire, et

- une détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$, de sorte que :

$$C_{sim/el}^{SE} = C_{0/el}^{SM} \times P_{el}^{ajust}$$

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, dans lequel le code de transport est un code de Monte Carlo.

16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel le code de Monte Carlo est le code PENELOPE.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le rayonnement électronique est un rayonnement d'électrons et/ou de particules β .

18. Procédé de détermination de coefficient d'étalonnage simulé de source radioactive à mesurer (SM) dans une chambre d'ionisation, la source radioactive à mesurer émettant un rayonnement photonique, le procédé comprenant une étape de détermination d'au moins un facteur d'ajustement

(P_{ph}^{ajust}) de chambre d'ionisation (CH) contenant un gaz qui comprend :

- une étape de modélisation de la chambre d'ionisation et d'au moins une source radioactive étalon de matrice et de conditionnement donnés (3(a), 14(a)) émettant un rayonnement photonique,
 - une étape de simulation (3(b), 14(b)) pour déterminer, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, une réponse simulée (R_{ph}^{ajust} , R_{ph}^i), en fonction de l'énergie, de l'installation constituée de la chambre d'ionisation (CH) et de la source radioactive étalon,
 - une étape de détermination de courant simulé par unité d'activité pour la source radioactive étalon ($C_{o/ph}^{ajust}$, $C_{o/ph}^i$) à partir de la réponse simulée (R_{ph}^{ajust} , R_{ph}^i),
 - une étape de mesure d'un courant d'ionisation (I_{ph}^{ajust} , I_{ph}^i) associé à la source radioactive étalon,
 - une étape de détermination de coefficient d'étalonnage expérimental ($C_{exp/ph}^{ajust}$, $C_{exp/ph}^i$) pour la source radioactive étalon à partir de la mesure du courant d'ionisation, et
 - une étape de détermination du facteur d'ajustement (P_{ph}^{ajust}) sous la forme du rapport entre le coefficient d'étalonnage expérimental pour la source radioactive étalon et le courant simulé par unité d'activité pour la source radioactive étalon,
- caractérisé en ce que, la source radioactive à mesurer contenant un type donné de radionucléide et ayant une matrice et un

conditionnement de type donnés, il comprend, si le type donné de matrice et le type donné de conditionnement de la source radioactive à mesurer sont respectivement identiques au type de matrice et au type de conditionnement d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement :

- une étape de calcul de courant simulé par unité d'activité $C_{O/ph}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer, et
- 10 - une étape de calcul du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/ph}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer de sorte que :

$$C_{sim/ph}^{SM} = C_{O/ph}^{SM} \times P_{ph}^{ajust}.$$

- 15 19. Procédé selon la revendication 18, dans lequel le courant simulé par unité d'activité $C_{O/ph}^{SM}$ de la source radioactive à mesurer est donné par la formule :

$$C_{O/ph}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{ph}^{SM}(E) R_{ph}^{SM}(E) dE,$$

20 où :

- $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions,
- E_{max} est une énergie maximale d'intérêt,
- 25 - $S_{ph}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission photonique théorique de la source à mesurer, et
- $R_{ph}^{SM}(E)$ est la réponse de l'installation de mesure constituée de la chambre d'ionisation et d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement
- 30 P_{ph}^{ajust} .

20. Procédé selon la revendication 18, dans lequel, si le type donné de matrice et/ou de conditionnement de la source radioactive à mesurer est différent, respectivement, du type de matrice et/ou du type de conditionnement d'une source étalon utilisée pour obtenir le facteur d'ajustement P_{ph}^{ajust} , il est requis de savoir si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée ou non, et si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée, il est requis de savoir si une simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue et, si une simulation de la réponse en fonction de l'énergie de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer est connue, il y a :

- détermination d'un courant simulé par unité d'activité de la source radioactive à mesurer $C_{O/ph}^{SM}$ de sorte que :

$$C_{O/ph}^{SM} = K \int_0^{E_{max}} S_{ph}^{SM}(E) R_{ph}(E) dE$$

où $S_{ph}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission photonique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{ph}(E)$ la simulation connue de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et d'une source

radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer, et

- détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/ph}^{SM}$, de sorte que :

$$5 \quad C_{sim/ph}^{SE} = C_{o/ph}^{SM} \times P_{ph}^{ajust}.$$

21. Procédé selon la revendication 20, dans lequel, si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer n'est pas validée, il comprend :

- une modélisation d'une source radioactive étalon supplémentaire (SE) de type de matrice et de type de conditionnement identiques à ceux de la source radioactive à mesurer (SM),

15 - une simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse ($R_{ph}^{SE}(E)$) de l'installation de mesure constituée par la chambre d'ionisation et la source radioactive étalon supplémentaire (SE),

20 - une mesure de courant d'ionisation (I_{ph}^{SE}) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,

- une détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{exp/ph}^{SE}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,

25 - un calcul de la quantité $\Delta_{C/ph}$ telle que :

$$\Delta_{C/ph} = \left| C_{exp/ph}^{SE} - C_{sim/ph}^{SE} \right| / C_{exp/ph}^{SE}$$

- un calcul de la quantité $U(\Delta_{C/ph})$ telle que :

$$U(\Delta_{C/ph}) = 3 (1 + \Delta_{C/ph})$$

$$\sqrt{\left(\sigma(C_{\text{exp/ph}}^{SE})/C_{\text{exp/ph}}^{SE}\right)^2 + \left(\sigma(C_{\text{sim/ph}}^{SE})/C_{\text{sim/ph}}^{SE}\right)^2},$$

où $\sigma(C_{\text{exp/ph}}^{SE})$ et $\sigma(C_{\text{sim/ph}}^{SE})$ sont, respectivement, les incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{\text{exp/ph}}^{SE}$ et $C_{\text{sim/ph}}^{SE}$,

- une comparaison de la quantité $\Delta_{C/ph}$ avec la quantité $U(\Delta_{C/ph})$, et

- si $\Delta_{C/ph} \leq U(\Delta_{C/ph})$, un calcul du courant simulé par unité d'activité C_0^{SM} de la source à mesurer

(SM) de sorte que :

$$C_{O/ph}^{SM} = K \int_0^{E_{\max}} S_{ph}^{SM}(E) R_{ph}^{SE}(E) dE$$

où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{ph}^{SM}(E)$ est le spectre d'émission photonique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{ph}^{SE}(E)$ la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon supplémentaire, et

- une détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{\text{sim/ph}}^{SM}$, de sorte que :

$$C_{\text{sim/ph}}^{SE} = C_{O/ph}^{SM} \times P_{ph}^{\text{ajust}}$$

22. Procédé selon la revendication 21, dans lequel, si $\Delta_{C/ph}$ est supérieur à $U(\Delta_{C/ph})$, les calculs du courant par unité d'activité et du coefficient d'étalonnage simulé de la source radioactive à mesurer ne sont pas effectués et le procédé est réitéré à partir de l'étape de modélisation et/ou de simulation

de la source radioactive étalon supplémentaire (SE), avec des modifications de paramètres (M, CT) jusqu'à ce que la condition $\Delta_{C/ph} \leq U(\Delta_{C/ph})$ soit obtenue.

5 23. Procédé selon la revendication 20, dans lequel, si une modélisation de la matrice et du conditionnement de la source radioactive à mesurer est validée et si la simulation de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et
10 d'une source radioactive de matrice et de conditionnement identiques à la source radioactive à mesurer n'est pas connue, il y a :

- une simulation, à partir d'un code de transport de rayonnement dans la matière, d'une réponse
15 ($R_{ph}^{SE}(E)$) de l'installation de mesure constituée par la chambre d'ionisation et une source radioactive étalon supplémentaire (SE),

- une mesure de courant d'ionisation (I_{ph}^{SE}) relatif à la source radioactive étalon supplémentaire,
20 - une détermination d'un coefficient d'étalonnage expérimental $C_{exp/ph}^{SE}$ pour la source radioactive étalon supplémentaire, à partir de la mesure du courant d'ionisation,

- un calcul de la quantité $\Delta_{C/ph}$ telle que :

25
$$\Delta_{C/ph} = \left| C_{exp/ph}^{SE} - C_{sim/ph}^{SE} \right| / C_{exp/ph}^{SE}$$

- un calcul de la quantité $U(\Delta_{C/ph})$ telle que :

$$U(\Delta_{C/ph}) = 3 \sqrt{\left(\sigma(C_{exp/ph}^{SE}) / C_{exp/ph}^{SE} \right)^2 + \left(\sigma(C_{sim/ph}^{SE}) / C_{sim/ph}^{SE} \right)^2},$$

où $\sigma(C_{\text{exp/ph}}^{\text{SE}})$ et $\sigma(C_{\text{sim/ph}}^{\text{SE}})$ sont, respectivement, les incertitudes composées des coefficients d'étalonnage respectifs $C_{\text{exp/ph}}^{\text{SE}}$ et $C_{\text{sim/ph}}^{\text{SE}}$,

- une comparaison de la quantité Δ_C avec la
5 quantité $U(\Delta_{C/\text{ph}})$, et

- si $\Delta_{C/\text{ph}} \leq U(\Delta_{C/\text{ph}})$, un calcul du courant simulé par unité d'activité C_0^{SM} de la source à mesurer (SM) de sorte que :

$$C_{0/\text{ph}}^{\text{SM}} = K \int_0^{E_{\text{max}}} S_{\text{ph}}^{\text{SM}}(E) R_{\text{ph}}^{\text{SE}}(E) dE$$

10 où $K = e/W$, e étant la charge de l'électron et W l'énergie moyenne d'ionisation du gaz qui emplit la chambre pour la création d'une paire d'ions, $S_{\text{ph}}^{\text{SM}}(E)$ est le spectre d'émission électronique théorique de la source radioactive à mesurer et $R_{\text{ph}}^{\text{SE}}(E)$ la simulation
15 de la réponse de l'installation constituée de la chambre d'ionisation et de la source radioactive étalon supplémentaire, et

- une détermination du coefficient d'étalonnage simulé $C_{\text{sim}}^{\text{SM}}$, de sorte que :

20
$$C_{\text{sim/ph}}^{\text{SE}} = C_{0/\text{ph}}^{\text{SM}} \times P_{\text{ph}}^{\text{ajust}}$$

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 23, dans lequel le code de transport est un code de Monte Carlo.

25

25. Procédé selon la revendication 24, dans lequel le code de Monte Carlo est le code PENELOPE.

26. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 25, dans lequel le rayonnement photonique est un rayonnement X et/ou γ .

5 27. Procédé de détermination de coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SM} de source radioactive à mesurer (SM) dans une chambre d'ionisation, la source radioactive à mesurer émettant un rayonnement photonique et un rayonnement électronique, caractérisé
10 en ce qu'il comprend une étape de détermination de coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/ph}^{SM}$ pour le rayonnement photonique conformément à l'une quelconque des revendications 18 à 26 et une étape de détermination de coefficient d'étalonnage simulé $C_{sim/el}^{SM}$
15 pour le rayonnement électronique conformément à l'une quelconque des revendications 9 à 17, le coefficient d'étalonnage simulé de la source radioactive à mesurer qui émet un rayonnement photonique et un rayonnement électronique étant donné par la formule :

20
$$C_{sim}^{SM} = C_{sim/ph}^{SM} + C_{sim/el}^{SM}$$

28. Procédé selon la revendication 27 dans lequel, si sensiblement au moins 99% de l'intensité totale rayonnée par la source radioactive à mesurer est
25 un rayonnement photonique ou si l'énergie du rayonnement photonique est sensiblement inférieure ou égale à 800keV, le coefficient d'étalonnage simulé C_{sim}^{SM} de la source à mesurer est sensiblement égal au seul coefficient $C_{sim/ph}^{SM}$, le coefficient $C_{sim/el}^{SM}$ étant alors
30 négligé.

29. Procédé d'étalonnage de chambre d'ionisation comprenant une étape de détermination de coefficient d'étalonnage simulé de source radioactive à mesurer, caractérisé en ce que l'étape de détermination
5 de coefficient d'étalonnage simulé de source radioactive à mesurer est mise en œuvre par un procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 28.

1 / 6

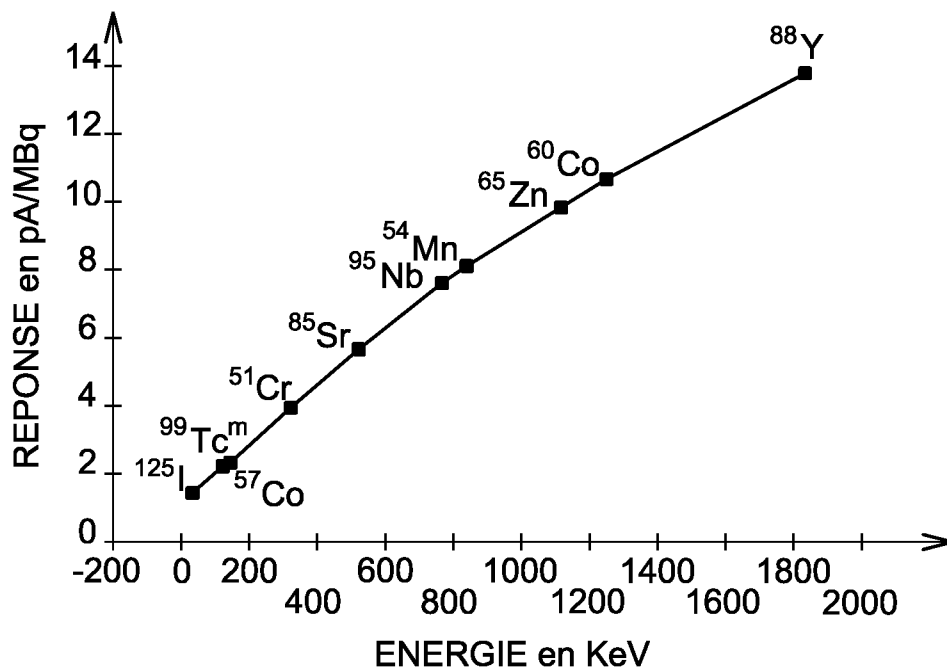


FIG. 1

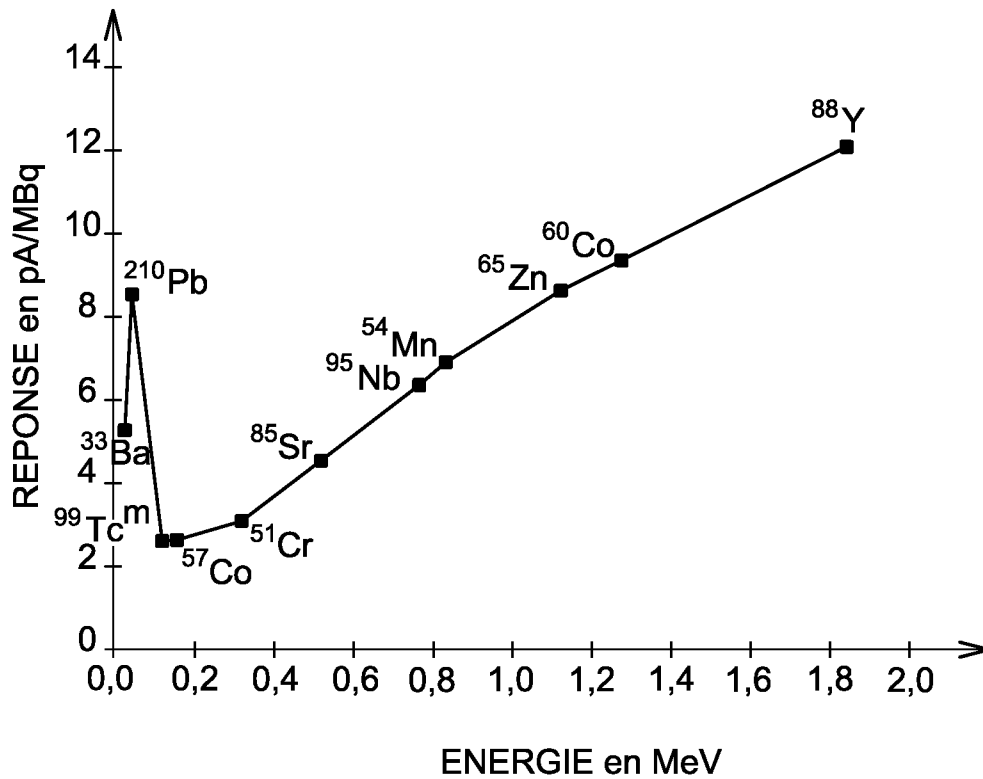


FIG. 2

2 / 6

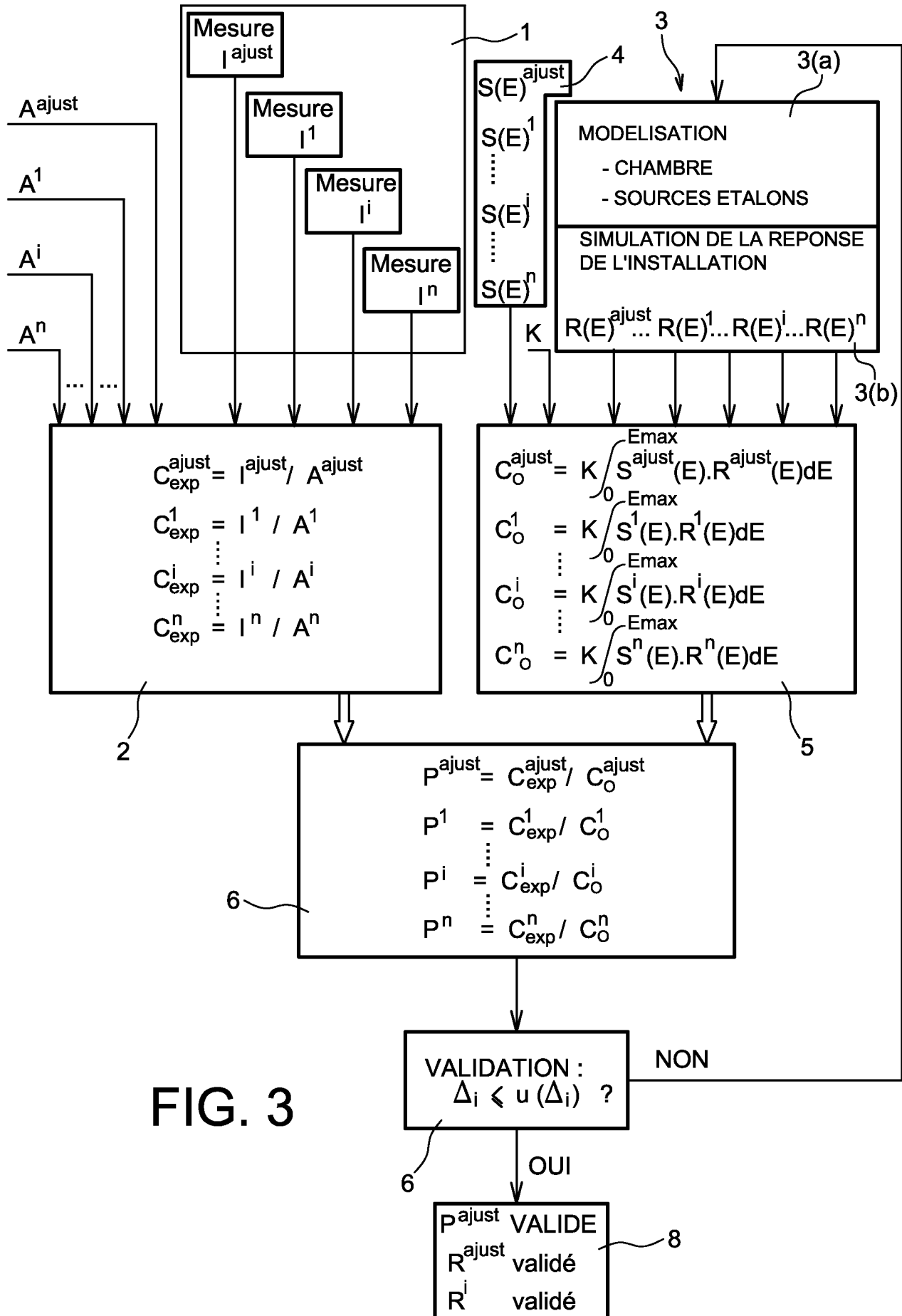
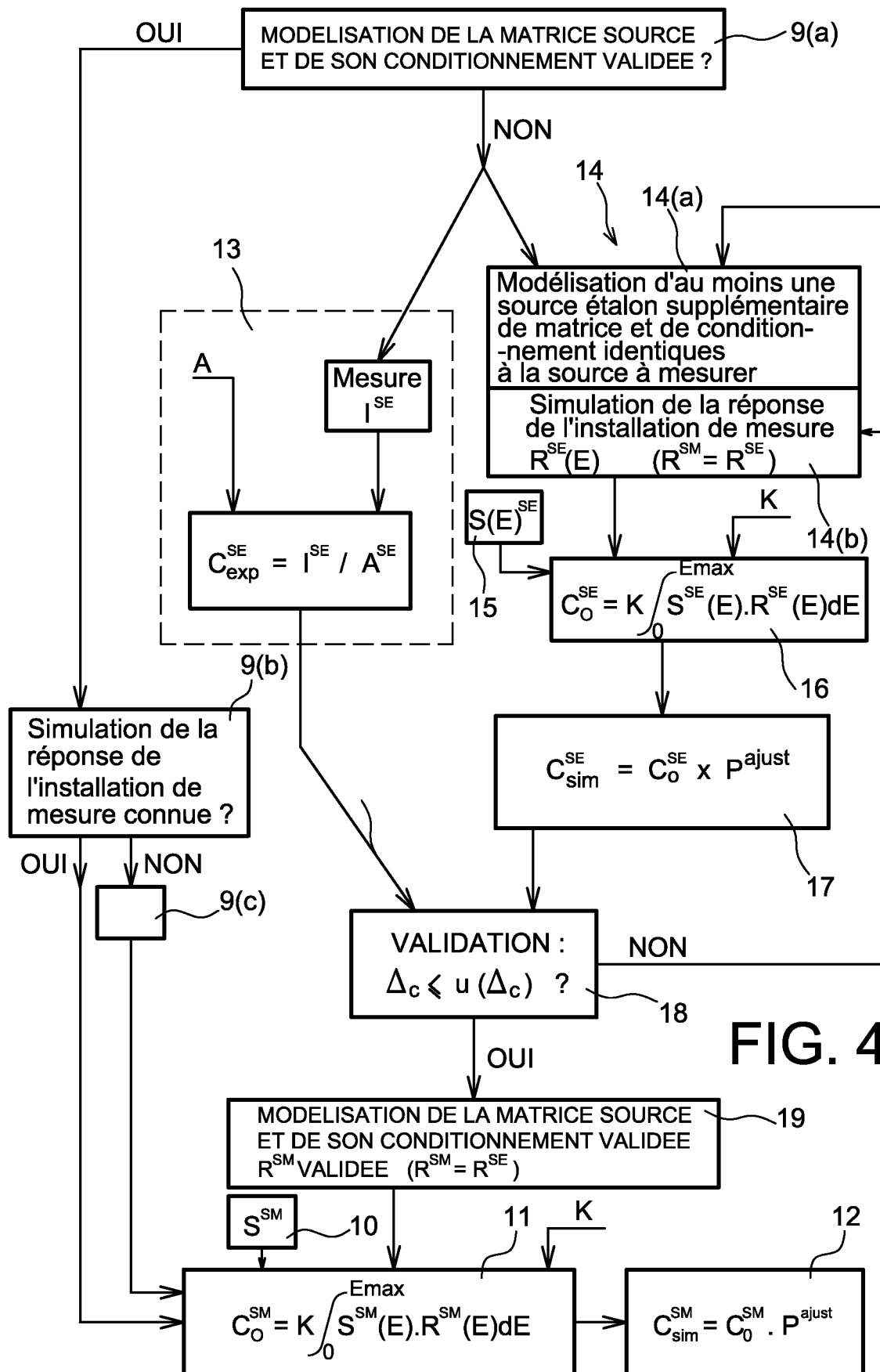


FIG. 3



4 / 6

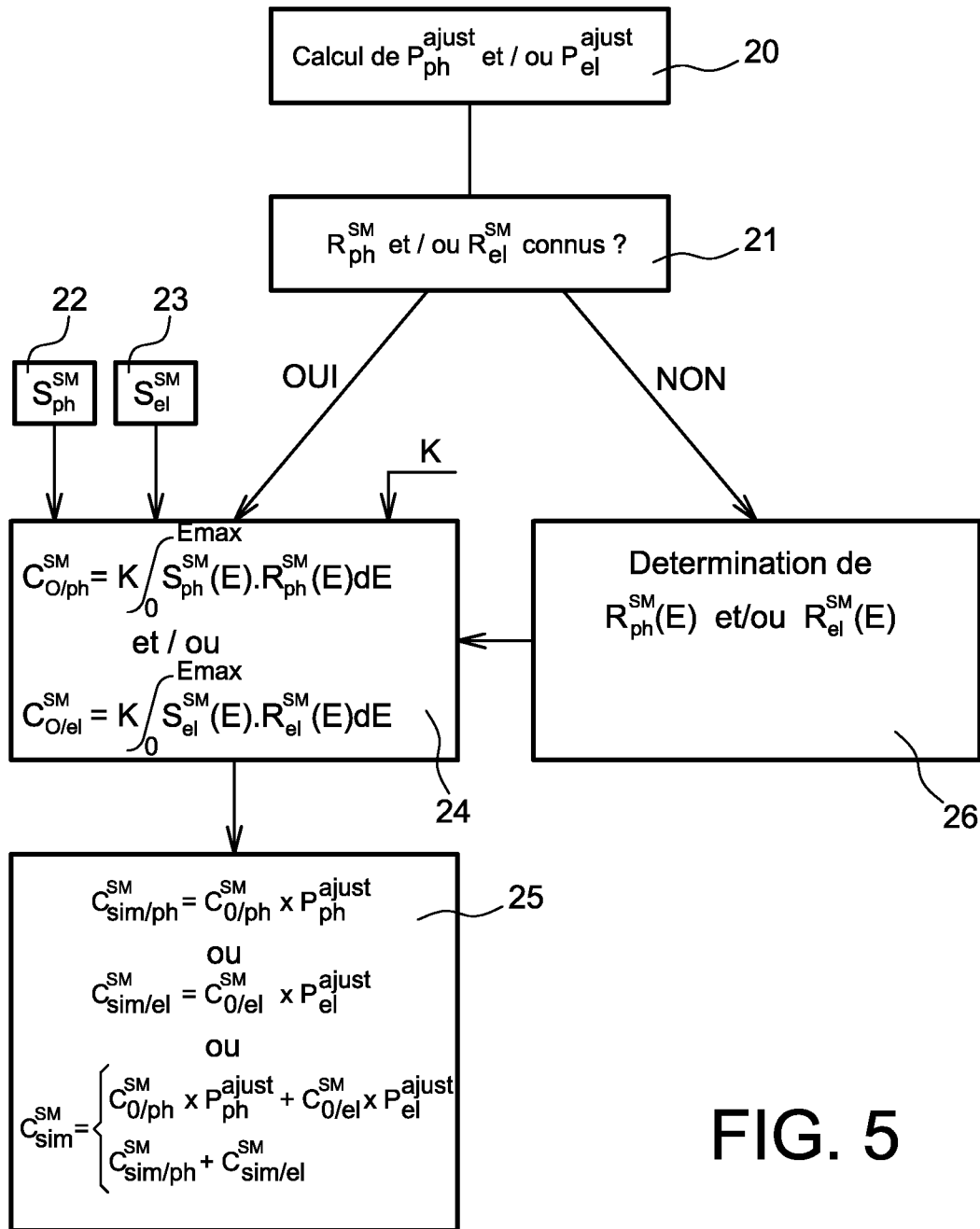
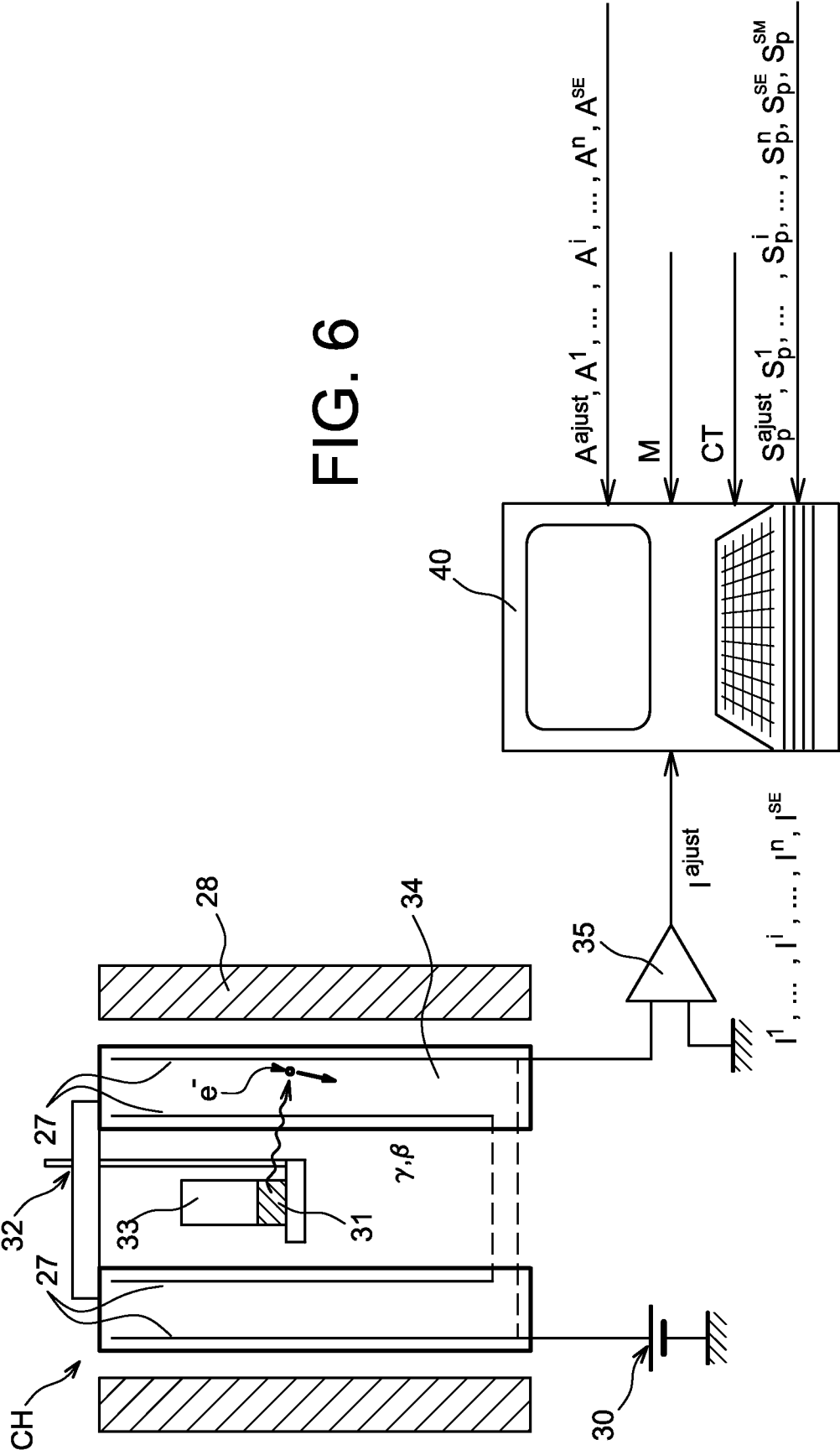
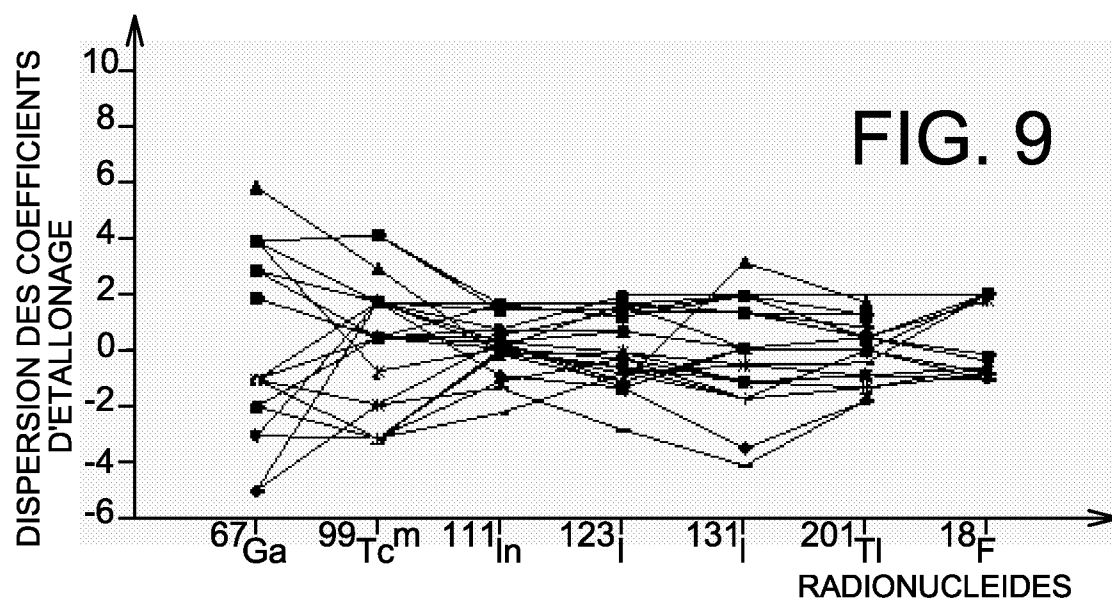
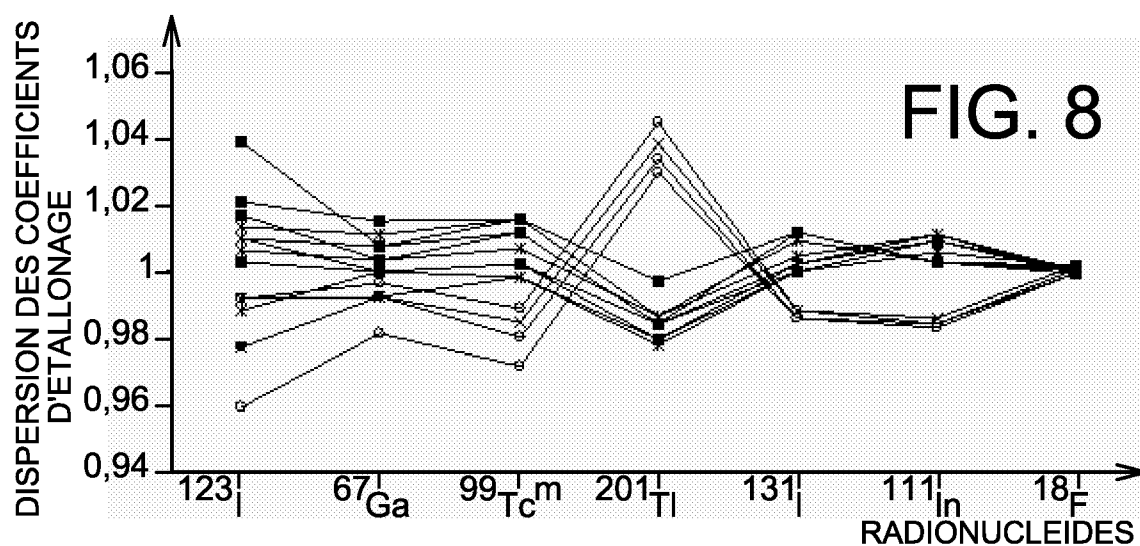
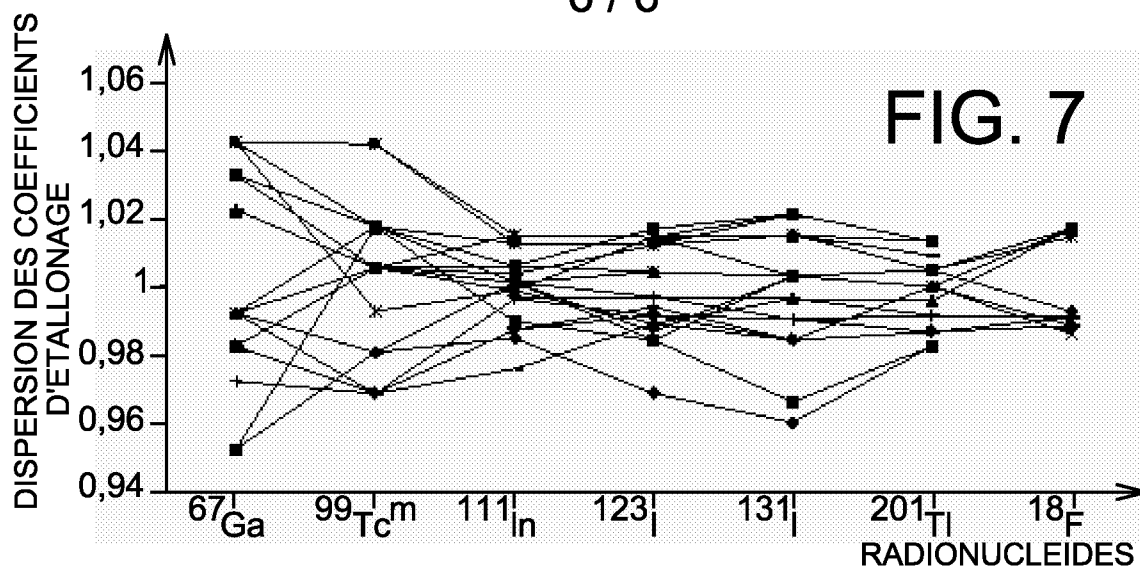


FIG. 5



6 / 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/068402

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01J47/02 G01T1/185

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H01J G01T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE VISMES A ET AL: "Towards absolute activity measurements by ionisation chambers using the PENELOPE Monte-Carlo code" APPLIED RADIATION AND ISOTOPES, ELSEVIER, OXFORD, GB, vol. 59, no. 4, October 2003 (2003-10), pages 267-272, XP004458720 ISSN: 0969-8043 cited in the application	1,2,6-8, 17
Y	abstract page 268, paragraph 2.2 pages 269-270, paragraph 3.1 pages 271-272, paragraph 4. ----- -/--	3-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 February 2007

Date of mailing of the international search report

01/03/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Loiseleur, Pierre

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	"Etalonnage et utilisation de systèmes à chambre d'ionisation pour le dosage des radionucléides" NORME INTERNATIONALE CEI 61145, COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE, GENÈVE, SUISSE, May 1992 (1992-05), XP008068938 cited in the application page 8, paragraph 3.1 page 14, paragraphs 4.5.1, 4.6.1 -----	3-5
A	US 2003/164455 A1 (HUGHES KARL ANTHONY ET AL) 4 September 2003 (2003-09-04) paragraphs [0006] - [0011] paragraph [0019] paragraphs [0023], [0024] -----	1
A	US 5 095 217 A (ATTIX ET AL) 10 March 1992 (1992-03-10) abstract column 8, lines 38-54 -----	1
A	MARÉCHAL M H ET AL: "Experimental derivation of wall correction factors for ionization chambers used in high dose rate ¹⁹²Ir source calibration" MEDICAL PHYSICS, AIP, MELVILLE, NY, US, vol. 29, no. 1, January 2002 (2002-01), pages 1-5, XP012011596 ISSN: 0094-2405 the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/068402

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2003164455	A1	04-09-2003	EP	1315004 A1	28-05-2003
US 5095217	A	10-03-1992	NONE		

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01J47/02 G01T1/185		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01J G01T		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE VISMES A ET AL: "Towards absolute activity measurements by ionisation chambers using the PENELOPE Monte-Carlo code" APPLIED RADIATION AND ISOTOPES, ELSEVIER, OXFORD, GB, vol. 59, no. 4, octobre 2003 (2003-10), pages 267-272, XP004458720 ISSN: 0969-8043 cité dans la demande	1,2,6-8, 17
Y	abrégé page 268, alinéa 2.2 pages 269-270, alinéa 3.1 pages 271-272, alinéa 4. ----- -/--	3-5
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
20 février 2007		01/03/2007
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Loiseleur, Pierre

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	"Etalonnage et utilisation de systèmes à chambre d'ionisation pour le dosage des radionucléides" NORME INTERNATIONALE CEI 61145, COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE, GENÈVE, SUISSE, mai 1992 (1992-05), XP008068938 cité dans la demande page 8, alinéa 3.1 page 14, alinéas 4.5.1, 4.6.1	3-5
A	US 2003/164455 A1 (HUGHES KARL ANTHONY ET AL) 4 septembre 2003 (2003-09-04) alinéas [0006] - [0011] alinéa [0019] alinéas [0023], [0024]	1
A	US 5 095 217 A (ATTIX ET AL) 10 mars 1992 (1992-03-10) abrégé colonne 8, ligne 38-54	1
A	MARÉCHAL M H ET AL: "Experimental derivation of wall correction factors for ionization chambers used in high dose rate ¹⁹²Ir source calibration" MEDICAL PHYSICS, AIP, MELVILLE, NY, US, vol. 29, no. 1, janvier 2002 (2002-01), pages 1-5, XP012011596 ISSN: 0094-2405 le document en entier	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale n°

PCT/EP2006/068402

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003164455 A1	04-09-2003	EP 1315004 A1	28-05-2003
US 5095217 A	10-03-1992	AUCUN	