



SPF Economie, PME, Classes
Moyennes & Energie
Office de la Propriété intellectuelle

(11) 1031179 B1

(47) Date de délivrance : 22/07/2024

(12) BREVET D'INVENTION BELGE

(47) Date de publication : 22/07/2024

(21) Numéro de demande : BE2022/6078

(22) Date de dépôt : 23/12/2022

(62) Divisé de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : H05H 13/02, H01F 7/20

(30) Données de priorité :

(73) Titulaire(s) :

NanoMarker
SRL
1325, DION-VALMONT
Belgique

(72) Inventeur(s) :

CONARD Emile
1325 DION-VALMONT
Belgique

(54) CYCLOTRON

(57) Cyclotron pour produire des radionucléides pour applications médicales, le cyclotron comprenant un électroaimant, un résonateur et une entrée de particules chargées dans le cyclotron et une sortie de particules chargées accélérées à l'extérieur du cyclotron, configuré pour accélérer des particules chargées à une énergie maximale inférieure à 25 MeV à une échelle plus petite.

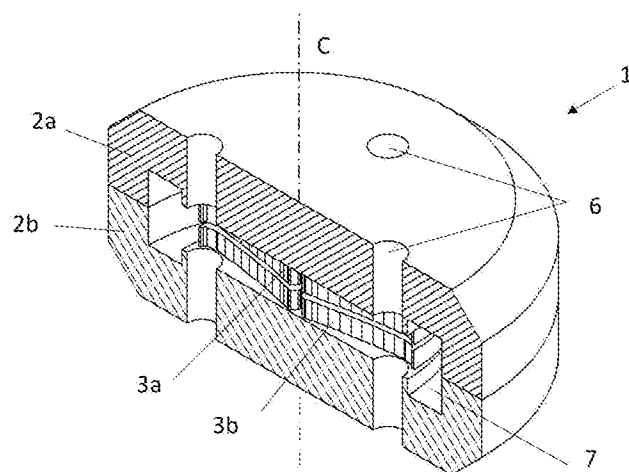


Fig. 1

CYCLOTRON

[0001] L'invention concerne un cyclotron, notamment un cyclotron pour application médicale.

[0002] Un cyclotron est un type d'accélérateur de particules circulaire dans lequel des particules chargées positivement ou chargées négativement sont injectées dans le cyclotron par un système d'injections de particules, puis les particules chargées sont accélérées par un système radiofréquence, puis guidées par un système magnétique, en particulier depuis le centre du cyclotron vers l'extérieur de celui-ci, le long d'une trajectoire ayant une forme générale de spirale. Les particules chargées accélérées forment ainsi un faisceau de particules (on peut également parler de faisceau de particules chargées ou de faisceau d'ions). Les particules peuvent atteindre des énergies maximales de l'ordre de quelques MeV à plusieurs centaines de MeV.

[0003] Les cyclotrons sont aujourd'hui notamment utilisés dans des applications médicales dans le but de produire des produits radiopharmaceutiques comprenant des radionucléides (également appelés isotopes radioactifs ou radioéléments). Un radionucléide est obtenu par réaction nucléaire entre une particule chargée accélérée et un matériau précurseur. Par exemple, l'un des isotopes radioactifs est le fluor-18, qui est obtenu via la réaction nucléaire induite par des protons possédant une énergie cinétique adaptée bombardant l'isotope stable Oxygène-18 ($^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$) en tant que matériau précurseur. Une fois les isotopes radioactifs créés, les produits radiopharmaceutiques sont fabriqués puis transférés dans un centre médical ou un hôpital afin d'être utilisés dans le cadre d'un traitement ou un diagnostic médical, par exemple par l'imagerie TEP, tomographie par émission de positrons.

[0004] En raison de la courte demi-vie des radionucléides couramment utilisés (par exemple, le fluor-18 a une demi-vie d'environ 110 minutes), il serait plus efficace et plus pratique de construire un cyclotron à l'intérieur des centres médicaux ou des hôpitaux afin de réduire les délais entre la création de l'isotope radioactif et son utilisation. L'électroaimant des cyclotrons connus pour des applications médicales est essentiellement constitué d'acier à faible teneur en carbone. L'induction magnétique à saturation de ces matériaux est généralement limitée à 1,8 T (Tesla). L'énergie maximale des particules accélérées par un cyclotron étant essentiellement proportionnelle au carré du produit $B \cdot r$ (B étant le champ magnétique moyen et r le rayon maximal de la plus grande orbite contenue dans ce champ), dans le but d'augmenter l'énergie des particules chargées, il faut augmenter le rayon des pôles générant le champ magnétique, ce qui entraîne une plus grande masse du cyclotron (qui est essentiellement proportionnelle au cube du rayon).

Par conséquent, les cyclotrons de production de radionucléides sont souvent éloignés des hôpitaux ou des centres médicaux, notamment en raison de leur poids (poids moyen d'au moins 9t (tonnes), et encore plus avec la masse du blindage encapsulant le cyclotron) et de leur taille (diamètre moyen d'au moins 1m pour les pôles seuls ou empreinte réduite d'au moins 30m²) qui rendent difficile ou impossible leur construction à l'intérieur des centres médicaux ou des hôpitaux.

[0005] Il est donc souhaitable de mettre à disposition des cyclotrons qui peuvent être situés au plus près de l'endroit où les produits radiopharmaceutiques sont nécessaires, de

préférence à l'endroit même où les produits radiopharmaceutiques sont nécessaires, c'est-à-dire à l'intérieur ou à proximité de l'hôpital ou du centre médical.

[0006] Par conséquent, on cherche à concevoir un cyclotron qui soit à la fois plus petit et moins lourd pour être installé à l'intérieur ou à proximité des centres médicaux ou des hôpitaux, tout en restant adapté à la production de particules, par exemple des protons, deutons ou alpha, à une énergie suffisante pour fabriquer des isotopes radioactifs, notamment les isotopes radioactifs couramment utilisés dans l'imagerie ou les traitements médicaux.

[0007] Selon l'un de ses aspects, la présente invention propose un cyclotron de production de radionucléides pour applications médicales tel que défini dans la revendication 1. Selon un autre de ses aspects, l'invention se rapporte également à une méthode de production d'un élément d'un cyclotron en un alliage comprenant du fer et du cobalt. Des aspects supplémentaires de l'invention sont définis dans les revendications indépendantes. Les revendications dépendantes définissent des modes de réalisation préférés et/ou alternatifs.

[0008] Le principe de fonctionnement d'un cyclotron est régi par la force de Lorenz ($F=q.v \times B$, en l'absence de force électrique) appliquée à une particule chargée. En raison de cette force, lorsqu'un champ magnétique uniforme lui est appliqué, la trajectoire de la particule chargée suit, en l'absence d'accélération, essentiellement un arc de cercle dans un plan perpendiculaire au champ magnétique uniforme.

[0009] Les cyclotrons comprennent des modules distincts tels que :

- un électroaimant comprenant une culasse, deux pôles et au moins une bobine, l'électroaimant étant configuré pour fournir un champ magnétique ;
- un résonateur, notamment un résonateur haute fréquence, qui est configuré pour appliquer une différence de potentiel électrique à une fréquence réglable à la particule afin d'accélérer sa vitesse; et
- une entrée de particules comprenant un système d'injection de particules afin de faire entrer des particules chargées dans le cyclotron.

[0010] Le cyclotron peut comprendre une sortie de particules comprenant un système d'extraction des particules hors du cyclotron. Dans cette configuration, la trajectoire du faisceau de particules est déviée par le système d'extraction en dehors du cyclotron via une sortie de particules en direction d'un matériau précurseur. En alternative au système d'extraction, on peut prévoir une cible comprenant le matériau précurseur à l'intérieur du cyclotron. Dans ce cas, le faisceau de particules accélérées reste à l'intérieur du cyclotron. Le faisceau de particules est constitué de particules chargées qui sont introduites dans un espace au centre ou près du centre du cyclotron via un système d'injection qui peut consister en une source de particules, et ce avec une vitesse initiale (et donc une énergie cinétique) relativement faible.

[0011] Les modules du cyclotron sont configurés pour, en combinaison, accélérer une ou plusieurs particules chargées dans un plan qui est substantiellement perpendiculaire aux lignes de champ magnétique généré, de sorte que la particule chargée se déplace selon une trajectoire substantiellement en spirale de rayon croissant, autour de l'axe central du

cyclotron, ledit axe central étant perpendiculaire au plan de trajectoire de la particule chargée.

[0012] L'électroaimant comprend deux pôles et une culasse, la culasse encapsulant substantiellement les pôles lorsque le cyclotron est en état de fonctionnement. La culasse est adaptée pour confiner les lignes de champ magnétique à l'intérieur du cyclotron en état de fonctionnement et empêcher les lignes de champ magnétique de se propager à l'extérieur du cyclotron en état de fonctionnement. La culasse peut être constituée de deux ou plus parties de culasse. De préférence, la culasse comprend une première partie de culasse et une seconde partie de culasse qui peuvent être assemblées ensemble dans une configuration fermée pour former la culasse. Lorsque la culasse est dans une configuration fermée, celle-ci fournit une cavité interne dans laquelle les pôles, y compris les pôles comprenant des secteurs optionnels, la (ou les) bobine(s), le résonateur et l'entrée de particules peuvent être installés. Dans une forme préférée de l'invention, la première et/ou la deuxième partie de la culasse est une partie de culasse unitaire.

[0013] En particulier lorsque la culasse comprend une première et une seconde partie de culasse, l'une de la première ou de la seconde partie de culasse est unitaire avec un pôle. De préférence, chaque partie de culasse est unitaire avec un pôle.

[0014] Par unitaire, on entend que l'élément est fabriqué en une seule pièce et non pas à partir de la combinaison de plusieurs éléments fixés ensemble, par exemple par boulonnage ou soudage.

[0015] Un ou chaque pôle de l'électroaimant peut comprendre, sur l'une de ses surfaces principales, en particulier la surface principale du pôle faisant face à l'autre pôle opposé, une pluralité de secteurs, formant une alternance de collines et de vallées, autour de l'axe central du pôle (axe central du pôle qui est de préférence l'axe principal du champ magnétique), faisant varier l'épaisseur du pôle autour de son axe central. Ainsi, lorsque les secteurs sont sur la surface du pôle faisant face au pôle opposé, cela fait varier la géométrie de l'espace situé entre les deux pôles lorsque le cyclotron est en mode de fonctionnement; la forme et la disposition des secteurs sur la surface du ou des pôles permet de corriger le flux magnétique lorsque celui-ci s'éloigne de l'axe central des pôles. L'arrangement des secteurs peut permettre notamment à guider les particules chargées au cours de leur trajectoire accélérée.

[0016] Les secteurs peuvent être fournis en tant qu'éléments séparés du pôle auquel ils sont associés. Lorsque les secteurs sont des éléments séparés, les secteurs peuvent être fixés à une surface principale d'un pôle par boulonnage ou soudage. Alternativement et dans un mode de réalisation préféré, les secteurs et le pôle associé forment une pièce unitaire. La surface latérale séparant une surface de colline et une surface de vallée adjacentes peut être une surface latérale plate ou une surface latérale courbe, voire en spirale.

[0017] Lorsque les secteurs sont des éléments distincts du pôle, chaque secteur peut être fabriqué séparément puis fixé ensuite sur une surface du pôle, notamment par boulonnage, vissage ou soudage. Dans un mode de réalisation préféré, chaque secteur angulaire est fixé à une distance angulaire espacée d'un secteur adjacent, l'espace entre deux secteurs adjacents étant dépourvu de secteur. Alternativement, une pluralité de secteurs agencés autour de l'axe du pôle sont fixés côte à côte sur une surface d'un pôle, avec une alternance entre un secteur de grande épaisseur et un secteur de petite épaisseur.

Ainsi, les secteurs apportant une grande épaisseur au pôle forment des collines tandis que l'espace angulaire entre deux secteurs de grande épaisseur ou l'espace angulaire dépourvu de secteurs forment des vallées.

5 [0018] Lorsque les secteurs sont des éléments distincts du pôle, le matériau formant les
secteurs et le matériau formant un pôle, en particulier le pôle auquel les secteurs sont
associés, sont de préférence sensiblement identiques chimiquement, c'est-à-dire que la
différence de composition pour chaque élément chimique du matériau est inférieure à 5%.
10 Par exemple les secteurs et les pôles peuvent comprendre au moins 80% en poids,
consister essentiellement ou consister en un alliage de fer et de cobalt.
Dans un mode de réalisation alternatif, les secteurs peuvent être d'une composition chimique
différente. Par exemple, les pôles peuvent comprendre 80% en poids, consister
essentiellement ou consister en du fer doux ou de l'acier à faible teneur en carbone tandis
15 que les secteurs peuvent comprendre 80% en poids, consister essentiellement ou consister
en de fer doux ou en acier.

[0019] Lorsque les secteurs et le pôle forment une pièce unitaire, le pôle est usiné sur
une de ses surfaces de manière à réduire son épaisseur à des espaces angulaires afin de
former des collines (épaisseur locale du pôle non ou faiblement réduite) et des vallées
20 (épaisseur locale du pôle fortement réduite) autour de l'axe du pôle. Dans cette
configuration, la partie du pôle d'épaisseur réduite forme les vallées tandis que la partie du
pôle d'épaisseur moins réduite forme les collines.

[0020] Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, l'électroaimant comprend
25 deux pièces unitaires substantiellement identiques formées chacune d'une partie de culasse,
d'un pôle et optionnellement de secteurs formant des collines et des vallées autour de l'axe
principal du pôle. En particulier si les collines et les vallées formées par les secteurs sont
spiralées, les deux pièces unitaires sont substantiellement symétriques.

30 [0021] Quand des secteurs formant des collines et des vallées sont présents, le nombre
minimal de secteurs est de 3 (formant ainsi 3 collines et 3 vallées).

[0022] De préférence, chaque pôle a une forme cylindrique. En particulier, lorsqu'un ou
chaque pôle a une forme cylindrique, le diamètre d'un ou de chaque pôle est supérieur au
35 diamètre des électrodes d'accélération. Cette différence de diamètre permet que les
électrodes d'accélération subissent, lorsque le cyclotron est en état de fonctionnement, un
champ magnétique substantiellement uniforme selon un seul axe principal, notamment un
axe parallèle à l'axe principal du pôle. Dans un mode de réalisation préféré, le diamètre d'un
ou de chaque pôle est $\leq 1,5$ m, ≤ 1 m, $\leq 0,9$ m, $\leq 0,75$ m ou $\leq 0,6$ m.
40

[0023] Le résonateur, comprenant des électrodes d'accélération (également appelées
Dés ou "Dees" en anglais), est de préférence un résonateur à haute fréquence. Par « haute
fréquence » on entend que le résonateur est capable de varier la polarité d'une électrode à
une fréquence d'au moins 15 MHz. Pour accélérer la particule chargée, le résonateur génère
45 une tension alternative sur les électrodes d'accélération. En particulier, lorsque le cyclotron
est un cyclotron isochrone, la fréquence de la tension alternative appliquée aux électrodes
d'accélération est réglée sur la fréquence du cyclotron qui ne dépend que du champ
magnétique et du type de particule accélérée. Le résonateur peut comprendre au moins une
deux, trois, quatre électrodes d'accélération ou plus, chaque électrode d'accélération étant

espacée de l'électrode adjacente dans un plan perpendiculaire aux lignes de champ magnétique. L'augmentation du nombre d'électrodes d'accélération permet d'obtenir un même gain d'énergie de la particule avec une différence de potentiel appliquée aux électrodes d'accélération réduite proportionnellement à ce nombre.

La fréquence "cyclotron" ou cyclotronique des particules est donnée par la relation fondamentale du cyclotron: $\omega = q \cdot B / m$ ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot F$). Par exemple, pour un proton (une unité de masse et une unité de charge) dans un champ magnétique d'intensité 1 Tesla, la fréquence de révolution est de 15,25 MHz. La fréquence du résonateur peut être un multiple entier de la fréquence de révolution.

[0024] Les électrodes d'accélération peuvent être positionnées dans l'espacement entre les deux surfaces opposées des pôles. Alternativement, en particulier lorsque le(s) pôle(s) comporte(nt) des secteurs formant des collines et des vallées, les électrodes d'accélération peuvent être situées dans les vallées. Cette dernière configuration permet de diminuer l'entrefer et de créer un champ magnétique en injectant moins de courant au sein de la bobine ou des bobines. Puisque la puissance dissipée par la bobine est proportionnelle au carré de l'intensité du courant d'entrée, il est particulièrement utile de diminuer la quantité de courant d'entrée.

[0025] De préférence, une, deux ou plusieurs bobines sont disposées à l'intérieur de la cavité formée par la culasse quand la culasse est en configuration fermée. De préférence, un évidement est prévu dans la culasse afin de pouvoir disposer la ou les bobines durant le montage du cyclotron. De préférence, la ou les bobines fait entièrement le tour des pôles. Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, l'électroaimant a une unique bobine. En particulier lorsque l'électroaimant comprend une unique bobine, la longueur de la bobine le long de l'axe central peut chevaucher les épaisseurs des deux pôles. Lorsque le cyclotron comprend deux bobines, chaque bobine peut s'étendre entièrement autour de chacun des deux pôles. Lorsque le cyclotron comprend deux bobines, la longueur d'une ou de chaque bobine le long de l'axe central peut être inférieure à la longueur de son pôle respectif. En variante, la longueur d'une ou de chaque bobine le long de l'axe central peut être égale ou supérieure à la longueur de son pôle respectif. De préférence, les deux bobines ont une longueur et/ou une conductivité électrique substantiellement identique. De préférence, les deux bobines sont disposées de manière symétrique par rapport au plan médian des pôles.

[0026] L'électroaimant peut comprendre d'autres bobines de correction afin de corriger le profil du champ magnétique. La bobine, notamment chaque bobine du cyclotron, est de préférence constituée essentiellement d'un matériau conducteur électrique, notamment un matériau conducteur choisi parmi le cuivre, un alliage de cuivre, l'aluminium, un alliage d'aluminium, ou tout métal ou alliage présentant une résistivité électrique inférieure à $1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ à 20°C. Un matériau ayant une résistivité électrique faible est recherché afin de diminuer les pertes d'énergie par effet Joule lors de son fonctionnement. Dans un mode préféré de réalisation, la ou chaque bobine est dépourvue ou substantiellement dépourvue de matériau supraconducteur. En variante, la bobine peut comprendre, consister ou consister essentiellement en un matériau supraconducteur, notamment un matériau supraconducteur à haute température, c'est-à-dire un matériau ayant des propriétés supraconductrices à une température supérieure à 77K.

[0027] Les particules chargées accélérées peuvent être des particules chargées positives, par exemple des protons H^+ . Les particules chargées accélérées peuvent être des

particules chargées négatives, par exemple des H⁻. Les particules chargées peuvent être choisies parmi les ions de protium (hydrogène sans neutron), de deutérium (hydrogène dont le noyau comporte un proton et un neutron), d'hydrogène moléculaire, ou les ions d'hélium. Alternativement, les particules chargées accélérées peuvent être des ions plus lourds, par exemple des ions de carbone.

[0028] Le cyclotron peut être configuré pour produire des particules chargées accélérées ayant une énergie maximale inférieure à 70MeV, inférieure à 30MeV, inférieure à 20MeV, inférieure à 15MeV, inférieure à 10MeV ou inférieure à 8MeV. Dans un mode de réalisation préféré, le cyclotron est configuré pour produire des particules accélérées avec une énergie maximale dans la gamme de 6-30MeV, de préférence dans la gamme de 6-10MeV.

[0029] Un ou chaque pôle du cyclotron a de préférence un diamètre d'au moins 25 cm, d'au moins 35 cm, d'au moins 50 cm, d'au moins 70 cm et/ou inférieur à 200 cm, inférieur à 150 cm, inférieur à 120 cm, inférieur à 100 cm ou inférieur à 80 cm.

[0030] Le cyclotron présente de préférence les caractéristiques combinées suivantes :
- un ou chaque pôle a un diamètre d'au moins 25cm et de moins de 100cm, de préférence de moins de 80cm ; et
- le cyclotron est configuré pour produire des particules chargées accélérées ayant une énergie maximale inférieure d'au moins 6 MeV et de moins de 20 MeV, de préférence de moins de 15 MeV.

[0031] Les radionucléides peuvent être choisis parmi l'azote-13, l'oxygène-15, le Sc-43, le carbone-11, le fluor-18, le sodium-22, le cuivre-64, le gallium-68 ou le brome-77. En particulier, lorsque le cyclotron produit des particules accélérées de moins de 6 MeV, les radionucléides peuvent être l'azote-13, l'oxygène-15, le Sc-43. En particulier, lorsque le cyclotron produit des particules accélérées d'au moins 6 MeV et de moins de 15 MeV, les radionucléides peuvent être le carbone-11, le fluor-18, le sodium-22, le cuivre-64, le gallium-68 ou le brome-77.

[0032] Un ou chaque pôle de l'électroaimant peut comprendre, consister ou consister essentiellement en un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T, de préférence d'au moins 2 T, plus préférablement d'au moins 2,2 T, et encore plus préférablement d'au moins 2,3 T. Le matériau est de préférence un alliage de fer et de cobalt.

[0033] Tel qu'utilisé ici, le terme "consiste essentiellement en" est destiné à limiter la portée d'une revendication aux matériaux ou étapes spécifiés et à ceux qui n'affectent pas matériellement la ou les caractéristiques fondamentales et nouvelles de l'invention revendiquée.

[0034] Dans un mode de réalisation préféré, un ou chaque pôle de l'électroaimant comprend au moins 90% en poids, de préférence 95% en poids et plus préférablement au moins 99% en poids d'un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T, de préférence d'au moins 2 T, plus préférablement d'au moins 2,2 T, et encore plus préférablement d'au moins 2,3 T. Le matériau est de préférence un alliage de fer et de cobalt.

[0035] Un ou chaque pôle de l'électroaimant est de préférence un pôle en alliage de fer et de cobalt. Il a été constaté que l'alliage de fer et de cobalt fournit une saturation magnétique plus élevée que l'électroaimant en acier à faible teneur en carbone.

[0036] Un élément ou une combinaison d'éléments sélectionné parmi : la culasse, un ou chaque pôle, les secteurs optionnels peuvent comprendre au moins 50% en poids, au moins 60% en poids, au moins 70% en poids, au moins 80% en poids, au moins 90% en poids, au moins 95% en poids, au moins 99% en poids d'un alliage de fer et de cobalt. De préférence, un ou une combinaison parmi : la culasse, un ou chaque pôle, les secteurs optionnels comprend au moins 90% en poids, de préférence au moins 95% en poids, encore plus préférablement au moins 99% en poids d'un alliage de fer et de cobalt.

[0037] L'alliage de fer et de cobalt peut comprendre du cobalt dans la gamme de 14 à 55% en poids ou de 14 à 50 % en poids, de préférence dans la gamme de 20 à 30 % en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables. Des exemples d'alliage de fer et de cobalt sont connus sous les noms suivants :

- Hiperco 15 (qui comprend du cobalt à hauteur de 14-15% en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables). L'Hiperco 15 présente une saturation à 2,25 T ;
- Aperam IMPHY AFK 18 (qui comprend du cobalt à hauteur de 17-19% en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables). Cet alliage présente une saturation à 2,3 T ;
- Vacoflux 17 (qui comprend du cobalt à hauteur de 16-18% en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables) ;
- Hiperco 27 (qui comprend du cobalt à hauteur de 26-28% en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables) ;
- Permendur (qui comprend des parts sensiblement égales de cobalt et de fer, notamment à hauteur de 48-50% en poids, éventuellement un élément additif en une quantité inférieure à 5% en poids tel que le vanadium, et des impuretés inévitables).

Dans un mode de réalisation préféré, l'alliage de fer et de cobalt comprend entre 26 et 28% de cobalt, le reste étant du fer et des impuretés inévitables. Dans un mode de réalisation préféré, tous les éléments choisis parmi les pôles et la culasse, notamment, lorsqu'ils sont applicables, la première partie de la culasse et la deuxième partie de la culasse, sont des éléments en alliage de fer et de cobalt.

[0038] La culasse, notamment les première et deuxième parties de la culasse, peut comprendre, consister ou consister essentiellement en un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T, de préférence d'au moins 2 T, plus préférablement d'au moins 2,2 T, et encore plus préférablement d'au moins 2,3 T.

[0039] Dans un mode de réalisation préféré, la culasse, notamment la première et la deuxième partie de culasse, comprend au moins 90 % en poids, de préférence 95 % en poids et plus préférablement au moins 99 % en poids d'un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T, de préférence d'au moins 2 T, plus préférablement d'au moins 2,2 T, et encore plus préférablement d'au moins 2,3 T. De préférence, le matériau de la culasse est un alliage de fer et de cobalt.

[0040] Dans un mode de réalisation préféré, la culasse, en particulier les première et deuxième parties de la culasse, et chaque pôle peuvent comprendre, consister ou consister essentiellement en un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95T, de

préférence d'au moins 2T, plus préférablement d'au moins 2,2T, et encore plus préférablement d'au moins 2,3 T, notamment en un alliage de fer et de cobalt.

[0041] Lorsque chaque pôle, et éventuellement la culasse, sont faits d'un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T ou d'au moins 2 T, de préférence d'au moins 2,2 T, plus préférablement d'au moins 2,3 T, il est possible de i) pour un même rayon, obtenir une particule chargée avec une énergie plus élevée, ou ii) obtenir une énergie maximale sur un pôle de plus petit rayon.

[0042] Les autres éléments constitutifs du cyclotron (autre que la culasse, les pôles et la ou les bobines) peuvent être fabriqués avec les matériaux usuels.

[0043] La forme d'un élément de cyclotron, en particulier la culasse ou un ou chaque pôle, est de préférence obtenue par pressage isostatique à chaud d'un alliage de fer et de cobalt sous forme particulière. De préférence, les particules d'alliage peuvent avoir une composition consistant ou consistant essentiellement en du cobalt dans la gamme de 14 à 55% en poids ou de 20 à 55% en poids, de préférence dans la gamme de 20 à 30 % en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables. Les particules d'alliage de fer et de cobalt peuvent avoir une taille particulière moyenne inférieure à 100µm, de préférence une taille moyenne dans la gamme 40-90µm. Dans les cyclotrons précédents, l'alliage de fer et de cobalt n'était utilisé qu'en petites pièces telles que des inflecteurs ou un anneau à la périphérie d'un pôle, car il n'était pas possible de fabriquer de grandes pièces de cet alliage. Ce procédé de fabrication préféré présente une pluralité d'avantages, par exemple:

- il améliore les propriétés mécaniques et l'ouvrabilité de l'alliage ;
- il améliore l'homogénéité de l'alliage;
- il assure des propriétés magnétiques isotropes et reproductibles ;
- il permet de produire un alliage de forme plus complexe et/ou plus large et notamment de produire des éléments unitaires, par exemple, un pôle ou une combinaison d'une partie d'une culasse et d'un pôle ;
- il permet d'obtenir des pièces plus petites et plus légères avec des performances similaires ou supérieures, en comparaison avec des pièces similaires en acier à faible teneur carbone.

[0044] Un autre avantage de l'invention est de simplifier les opérations de réglage du profil de champ magnétique (en anglais, *field mapping and trimming*) car la réduction de taille permet notamment d'installer une fraiseuse sur les pièces de l'aimant (in situ) contrairement à la technique conventionnelle qui demande que les pièces soient démontées, transportées et installées sur une fraiseuse dans un atelier d'usinage.

[0045] La fabrication d'éléments de cyclotron tels que les pôles et/ou la culasse avec un alliage de fer et de cobalt, en particulier par un procédé de pressage isostatique à chaud d'alliage de fer et de cobalt, permet également de reproduire à plus petite échelle les conceptions précédentes de cyclotrons existants. En outre, les vides à l'intérieur d'une pièce moulée peuvent être réduits ou éliminés et les poudres encapsulées peuvent être consolidées pour créer des matériaux entièrement denses. Des matériaux dissemblables peuvent également être assemblés pour fabriquer des éléments uniques et rentables.

[0046] En variante, la culasse et/ou un ou chaque pôle, ainsi que d'autres éléments des cyclotrons peuvent être fabriqués selon d'autres procédés de fabrication, par exemple : le moulage, le forgeage, le laminage, l'usinage par enlèvement de matière (par exemple

fraisage, tournage ou électroérosion), la production par fabrication additive (FA ou en anglais *AM, additive manufacturing*), aussi connue comme impression 3D, l'impression 3D par SLS (en anglais *selective laser sintering*, frittage sélectif par laser), l'impression 3D avec des poudres métalliques. L'avantage de la réalisation par FA est de produire une pièce quasi finie (en anglais, *net shape*) économisant la matière nécessaire à la fabrication et éliminant quasi toute opération d'usinage ultérieure.

[0047] Le cyclotron est de préférence un cyclotron isochrone (c'est-à-dire que l'intensité moyenne du champ magnétique varie avec le rayon tandis que la fréquence du résonateur reste constante). Contrairement à un cyclotron classique, un cyclotron isochrone est capable de produire des particules de plus grande énergie. Alternativement le cyclotron peut être un synchro-cyclotron.

[0048] Un bouclier de blindage radiologique peut en outre encapsuler le cyclotron. Le bouclier de blindage radiologique permet d'arrêter ou d'atténuer fortement les rayonnements ionisants inévitablement produits pendant le fonctionnement du cyclotron. Le cyclotron dépourvu de bouclier de blindage radiologique peut avoir une masse inférieure à 5 tonnes, de préférence inférieure à 2 tonnes. La masse totale du cyclotron et du bouclier de blindage radiologique est de préférence inférieure à 20 tonnes.

[0049] Un système de pompage pour créer le vide est de préférence prévu pour réduire le vide à l'intérieur du cyclotron avant la mise en fonctionnement du cyclotron. De préférence, le système de vide permet d'obtenir une pression lorsque le cyclotron est en état de fonctionnement de moins de 10^{-4} mbar (0.01 Pa).

[0050] Selon un autre de ses aspects, l'invention se rapporte également à une méthode de production d'un élément d'un cyclotron en un alliage comprenant du fer et du cobalt. La méthode comprenant :

- mettre à disposition un alliage de fer et de cobalt sous forme particulière ; et ensuite
- soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulière à un procédé de pressage isostatique à chaud,

dans lequel l'élément d'un cyclotron est sélectionné parmi un pôle, un secteur d'un pôle, une partie d'une culasse et une combinaison de ceux-ci.

[0051] De préférence, soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulière à un procédé de pressage isostatique à chaud comprend soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulière à

- une pression d'au moins 50MPa, d'au moins 100 MPa et/ou de moins de 300MPa, de moins de 250MPa ; et/ou
- une température d'au moins 400°C, d'au moins 600°C, d'au moins 800°C et/ou de moins de 1300°C, de moins de 1000°C.

[0052] Un mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit, à titre d'exemple seulement, en référence aux dessins ci-joints, parmi lesquels

- Fig 1 est une vue en coupe perspective d'un cyclotron selon un mode de réalisation de l'invention ;
- Fig 2 est une vue supérieure d'une partie inférieure d'un cyclotron de Fig 1 ;
- Fig 3 est une vue en coupe selon une première coupe d'un cyclotron en position « fermée » selon un second mode de réalisation de l'invention ;

- Fig 4 est une vue en coupe selon une deuxième coupe du cyclotron de Fig 3 en position « ouverte » ;
- Fig 5 est un graphique de l'induction magnétique en fonction de l'aimantation entre un acier à faible teneur en carbone et un alliage consistant 27% en poids de cobalt, le reste étant du en poids de fer d'inévitables impuretés.

[0053] Une matière première d'un alliage de fer et cobalt est réduite en une poudre d'un alliage de fer et cobalt comprenant environ 27% en poids de cobalt, le reste étant du fer et des impuretés inévitables. La poudre d'alliage de fer et de cobalt est traité par pressage isostatique à chaud et mis en forme pour former les éléments du cyclotron 1 de Fig 1:

- une culasse 2 constituée d'une première partie de culasse 2a et d'une seconde partie de culasse 2b. Chacune des première et seconde parties de la culasse a la forme d'un disque et les première et seconde parties de la culasse se font face dans la direction d'extension d'un axe central C. Une cavité interne dans laquelle des pôles et la bobine peuvent être disposés est formée lorsque la culasse est en configuration fermée ; les parties de culasse sont essentiellement symétriques par rapport au plan médian (qui est aussi le plan dans lequel le faisceau de particules est accéléré) ;
- deux pôles 3a, 3b, un pôle étant unitaire avec la surface intérieure de chacune de la première partie de la culasse 2a et de la seconde partie de la culasse 2b.

[0054] Chaque pôle comprend une pluralité de secteurs formant des collines 4b et des vallées 5b autour de l'axe central. Les électrodes d'accélération (non représentées) sont disposées à l'intérieur des vallées, entre deux collines.

[0055] Autour de chaque pôle est prévue un évidement 7 apte à recevoir une seule bobine de cuivre 8 de manière à entourer les deux pôles. Les dimensions de la partie supérieure et de la seconde partie de la culasse sont substantiellement identiques. Les dimensions de chaque pôle sont substantiellement identiques.

[0056] Chaque pôle a un diamètre d'environ 50 cm.

[0057] Des ouvertures 6 propres à l'évacuation de l'air pour obtenir un vide suffisant ainsi qu'au passage d'éléments du cyclotron, par exemple le résonateur, sont présentes. D'autres éléments tels qu'une unité de puissance, une unité de contrôle commande, une source d'énergie, une alimentation électrique pour la bobine, une source de radiofréquence pour exciter le résonateur, une entrée de particules, un système de vide sont également fournis (non représentés).

[0058] Comme illustré dans Fig 3 et Fig 4, chaque partie de la culasse 2a, 2b peut être en 2 pièces séparées fixées ensemble, l'une des pièces étant une section périphérique 9a, 9b, également nommées retour de flux, entourant une portion de la bobine 8. Quand le cyclotron 1 est en position de fonctionnement, les deux sections périphériques 9a, 9b entourent substantiellement la bobine 8.

[0059] Fig 3 est une vue en coupe plane selon l'axe central et la bissectrice des vallées. Fig 4 est une vue en coupe selon la bissectrice des secteurs formant les collines.

[0060] Le présent cyclotron 1, comprenant une culasse et des pôles en alliage de fer et de cobalt, est comparé à un cyclotron comparatif dans lequel la culasse et les pôles sont en acier à faible teneur en carbone :

	Exemple de cyclotron de l'art antérieur	Cyclotron conforme à la présente invention
Matériau des poles et de la culasse	Acier en faible teneur en carbone	27% en poids de cobalt 73% en poids de fer
Diamètre des pôles	80cm	50cm
Energie maximale des particules chargées	9.2 MeV	9 MeV
Puissance électrique consommée	37kW	<7kW
Empreinte au sol réduite	>30m ²	<12m ²
Masse réduite (sans le bouclier de blindage radiologique)	9t	<1t
Masse totale (avec le bouclier de blindage radiologique)	47t	<15t

5 [0061] Références dans les figures

1: culasse

2a, 2b: parties de culasse ;

3a, 3b: pôles

6: ouvertures

10 7: évidement

C axe central

4a, 4b: secteurs formant des "collines " magnétiques

5a, 5b: secteurs formant des vallées

PM: le plan médian

15 D: diamètre de la culasse

Rp: rayon des pôles

e: épaisseur d'une partie de culasse

8: bobine d'induction

9a et 9b: section de culasse (retour de flux)

20

25

REVENDECATIONS

1. Cyclotron pour la production de radionucléides pour applications médicales, le cyclotron comprenant
- 5 - un électroaimant configuré pour fournir un champ magnétique, l'électroaimant comprenant une culasse, deux pôles et au moins une bobine ;
- un résonateur, notamment un résonateur haute fréquence, configuré pour accélérer la vitesse d'une particule chargée ; et
- dans lequel chaque pôle est choisi parmi
- 10 i) un pôle comprenant au moins 80% en poids d'un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T ; ou
- ii) un pôle comprenant au moins 80% en poids d'un alliage de fer et de cobalt, notamment un alliage de fer et de cobalt comprenant de 14 à 55 % en poids de cobalt, de préférence de 20 à 50% en poids de cobalt, le reste étant du fer et des impuretés
- 15 inévitables ;
- et où la bobine est sélectionnée parmi :
- une bobine substantiellement dépourvue de matériau supraconducteur ; ou
- une bobine comprenant un matériau ayant des propriétés supraconductrices à une température supérieure à 77K.
- 20
2. Cyclotron selon la revendication 1, dans lequel la culasse de l'électroaimant comprend une première partie de culasse et une deuxième partie de culasse, la première et la seconde partie de culasse étant configurées pour être assemblées ensemble dans une configuration fermée.
- 25
3. Cyclotron selon la revendication 2, dans lequel
- la première partie de culasse est une première partie de culasse unitaire ; et/ou
- la seconde partie de culasse est une seconde partie de culasse unitaire.
- 30
4. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un ou chaque pôle comprend des secteurs sur l'une de ses surfaces principales, les secteurs formant une alternance de collines et de vallées.
5. Cyclotron selon la revendication 4, dans lequel les secteurs d'un pôle sont unitaires avec le pôle.
- 35
6. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la culasse et chaque pôle comprend au moins 90% en poids, de préférence au moins 95% en poids, et encore plus préférablement au moins 99% en poids d'un alliage de fer et de cobalt.
- 40
7. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la culasse comprend un alliage de fer et de cobalt ; et
- l'alliage de fer et de cobalt de la culasse et de chaque pôle comprend du cobalt dans la gamme de 14 à 55% en poids, de préférence dans la gamme de 20 à 30% en poids, le
- 45 reste étant du fer et des impuretés inévitables.

8. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la masse du cyclotron dépourvu d'un bouclier de blindage radiologique est inférieure à 3 tonnes.
- 5 9. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la culasse et/ou la pluralité de pôles et/ou les secteurs des pôles si présents sont formés
i) par pressage isostatique à chaud de particules d'alliage de fer et de cobalt ; et/ou
ii) par fabrication additive d'une matière première adaptée à la fabrication additive en alliage de fer et de cobalt .
- 10 10. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le cyclotron est configuré pour produire des particules chargées à une énergie maximale d'au moins 6MeV et inférieure à 25MeV, de préférence inférieure à 15MeV.
- 15 11. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le diamètre d'un ou de chaque pôle est ≤ 1 , m, de préférence ≤ 0.75 m, encore plus préférentiellement $\leq 0,6$ m.
- 20 12. Méthode de production d'un élément d'un cyclotron en un alliage comprenant du fer et du cobalt, le cyclotron étant un cyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, la méthode comprenant :
- mettre à disposition un alliage de fer et de cobalt sous forme particulaire ; et ensuite
- soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulaire à un procédé de pressage isostatique à chaud,
dans lequel l'élément d'un cyclotron est sélectionné parmi un pôle, un secteur d'un pôle,
25 une partie d'une culasse et une combinaison de ceux-ci.
- 30 13. Méthode selon la revendication 12, dans laquelle soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulaire à un procédé de pressage isostatique à chaud comprend soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulaire à
- une pression d'au moins 50MPa, d'au moins 100 MPa et/ou de moins de 300MPa, de moins de 250MPa ; et/ou
- une température d'au moins 400°C, d'au moins 600°C, d'au moins 800°C et/ou de moins de 1300°C, de moins de 1000°C.
- 35 14. Méthode de production d'un élément d'un cyclotron en un alliage comprenant du fer et du cobalt, le cyclotron étant un cyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, la méthode comprenant :
- mettre à disposition une matière première adaptée à la fabrication additive en alliage de fer et de cobalt ; et
40 - soumettre la matière première en alliage de fer et de cobalt à un procédé de fabrication additive.
- 45 15. Utilisation d'un matériau en alliage de fer et de cobalt pour fabriquer au moins 80% en poids d'un pôle et optionnellement au moins 80% d'une culasse d'un cyclotron afin de réduire la taille et le poids du cyclotron, et notamment dans laquelle le cyclotron est un cyclotron pour la production de radionucléides pour applications médicales.

16. Utilisation selon la revendication 15, dans laquelle l'alliage de fer et de cobalt comprend du cobalt dans la gamme de 14 à 55% en poids, de préférence dans la gamme de 20 à 30% en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables.

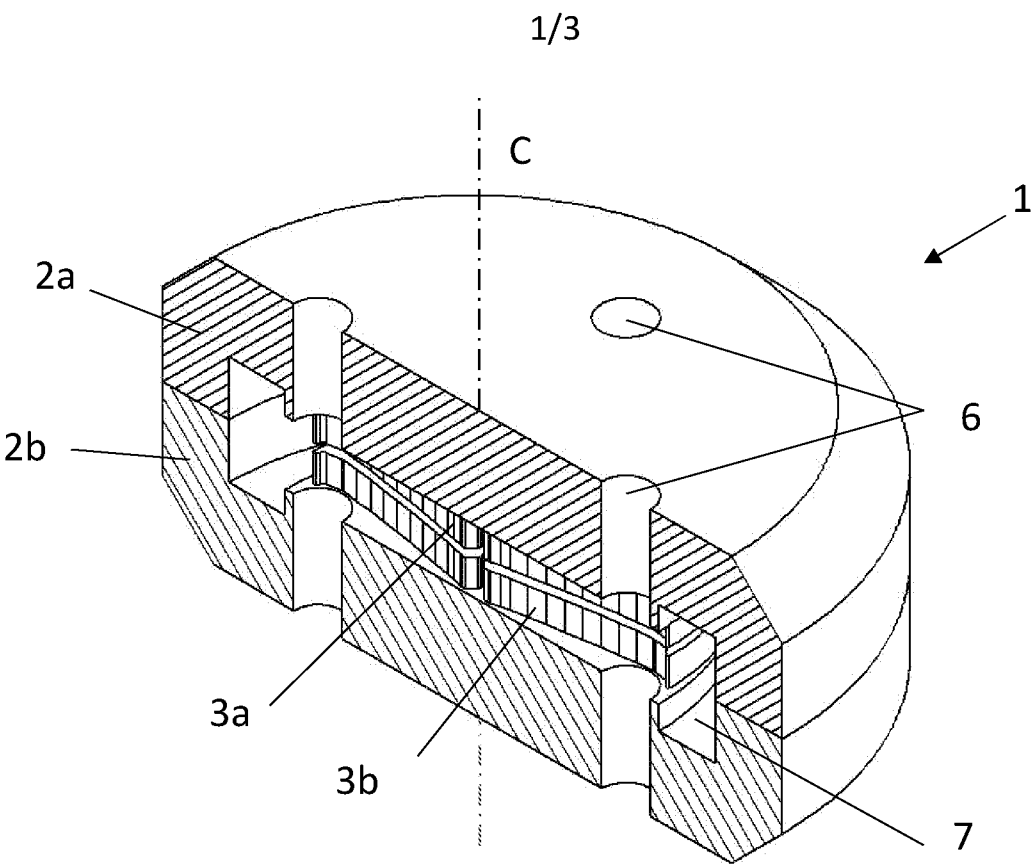


Fig. 1

5

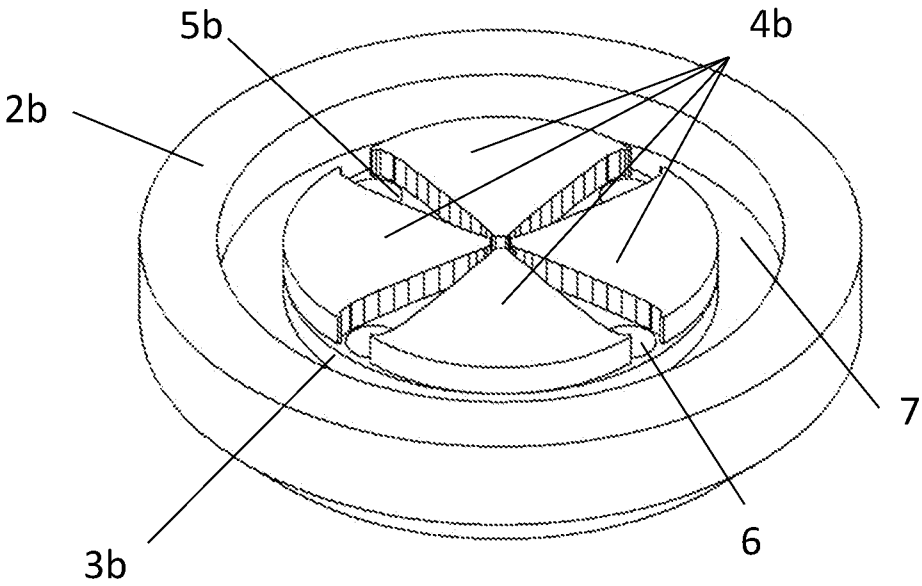


Fig.2

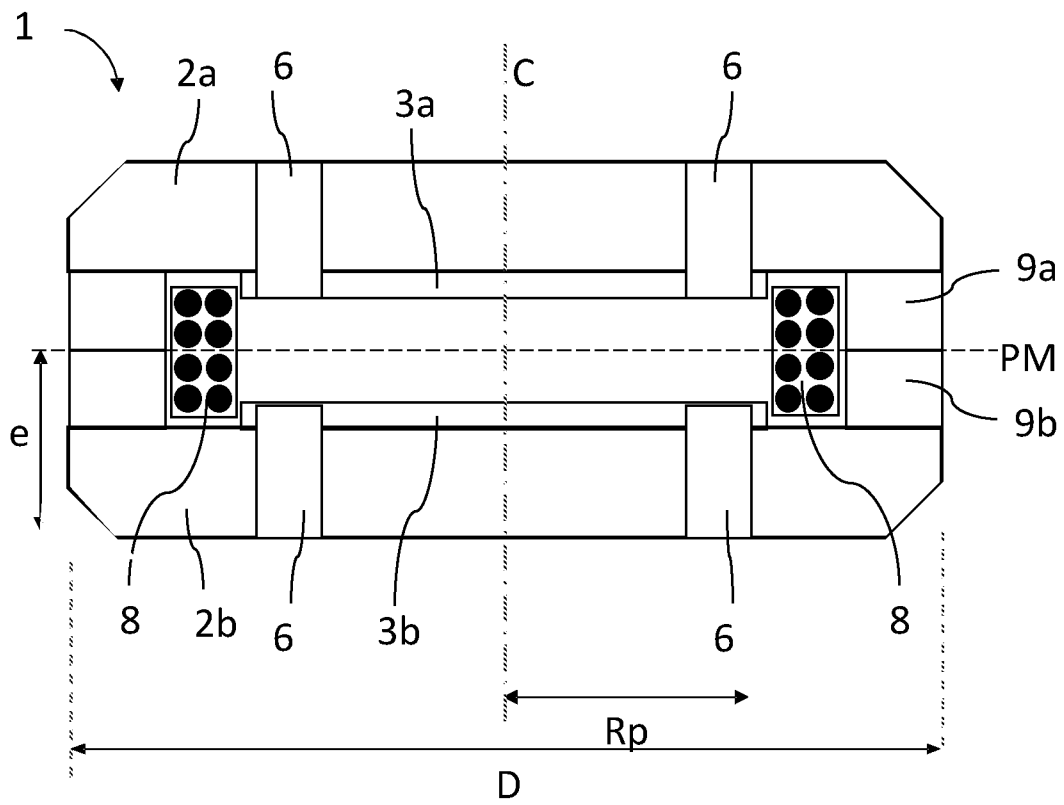


Fig.3

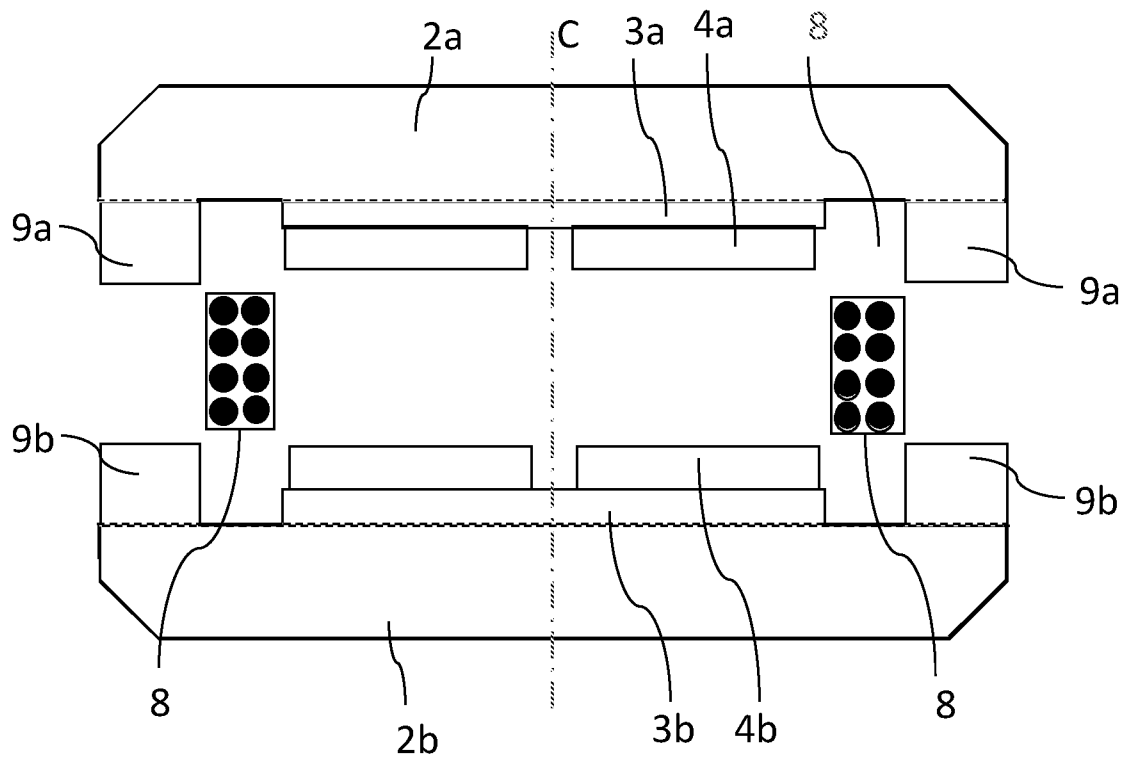


Fig.4

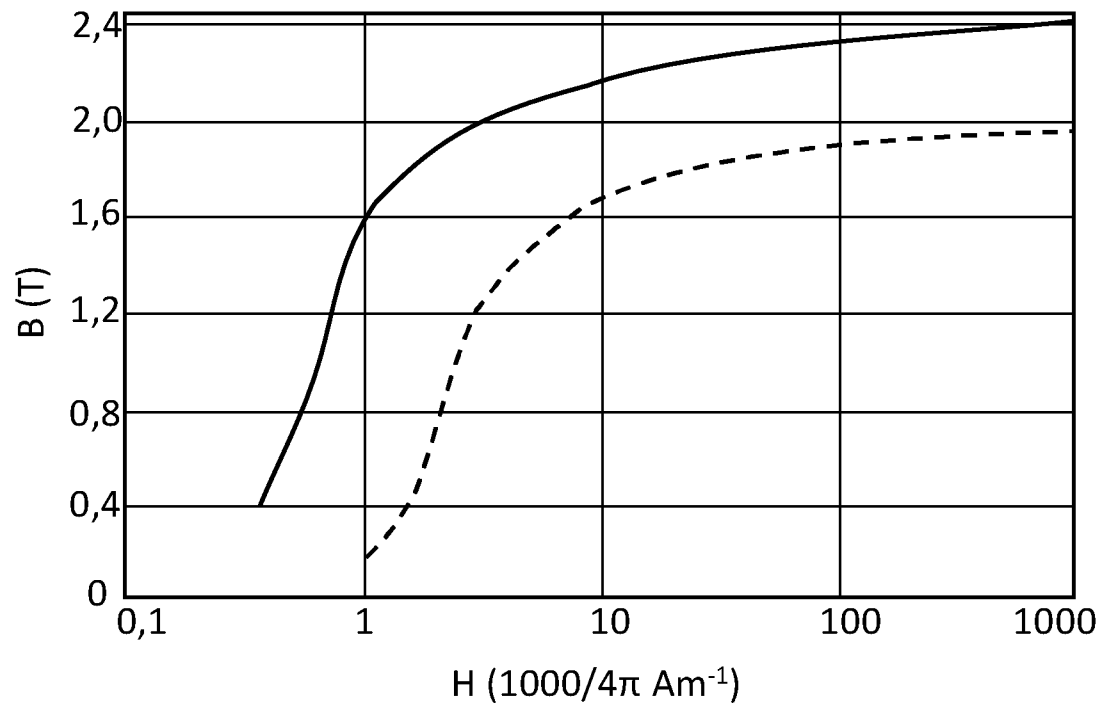


Fig.5

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL ÉTABLI EN VERTU DE L'ARTICLE XI.23., §10 DU CODE DE DROIT ÉCONOMIQUE BELGE

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE	REFERENCE DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE P1501-BE FECOTRON
Demande nationale belge n° 202206078	Date du dépôt 23-12-2022
	Date de priorité revendiquée
Déposant (Nom) NanoMarker SPRL	
Date de la requête d'une recherche de type international 14-01-2023	Numéro attribué par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international SN82995
I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous)	
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB Voir rapport de recherche	
II. DOMAINES RECHERCHES	
Documentation minimale consultée	
Système de classification	Symboles de la classification
IPC	Voir rapport de recherche
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents font partie des domaines consultés	
III. ☐ IL A ÉTÉ ESTIMÉ QUE CERTAINES REVENDICATIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	
IV. ☐ ABSENCE D'UNITÉ DE L'INVENTION ET/OU CONSTATATION RELATIVE À L'ÉTENDUE DE LA RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

BE 202206078

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H05H13/02 H01F7/20
ADD.

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)
H05H H01F

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 réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2020/257652 A1 (ANTAYA SCIENCE & TECH [US]) 24 décembre 2020 (2020-12-24) * figures 3-7 * * page 2, ligne 9 - page 21, ligne 10 * -----	1-5, 8-11
X	US 2014/152198 A1 (MITSUMOTO TOSHINORI [JP]) 5 juin 2014 (2014-06-05) * figures 1, 3 * * alinéa [0010] - alinéa [0054] * -----	1-3, 6, 8, 9, 15
Y		7, 12-14, 16
	-/--	

☒ 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 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, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt 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 de type international a été effectivement achevée

23 juin 2023

Date d'expédition du rapport de recherche de type international

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,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Clemente, Gianluigi

C.(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DANIEL WINKLEHNER ET AL: "High intensity cyclotrons for neutrino physics", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 10 juillet 2018 (2018-07-10), XP081426503, DOI: 10.1016/J.NIMA.2018.07.036 * figures 3, 10,11 * * page 8; tableau 1 * -----	1-5, 8, 9
X	CA 492 901 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 12 mai 1953 (1953-05-12)	1, 8, 9
Y	* figures 1-3 * * page 2, ligne 26 - ligne 29 * * page 4, ligne 11 - ligne 30 * -----	7, 16
Y	US 2019/304645 A1 (MURAI TAKAYUKI [JP]) 3 octobre 2019 (2019-10-03) * alinéa [0013] - alinéa [0130] * -----	12, 13
Y	LI SHIHAO ET AL: "3D printing of ductile equiatomic Fe-Co alloy for soft magnetic applications", ADDITIVE MANUFACTURING, ELSEVIER, NL, vol. 47, 10 septembre 2021 (2021-09-10), XP086891888, ISSN: 2214-8604, DOI: 10.1016/J.ADDMA.2021.102291 [extrait le 2021-09-10] * page 1 - page 8 * -----	14

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n

BE 202206078

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2020257652 A1	24-12-2020	US 2020404772 A1	24-12-2020
		WO 2020257652 A1	24-12-2020
US 2014152198 A1	05-06-2014	CN 103857168 A	11-06-2014
		EP 2739124 A1	04-06-2014
		JP 6138466 B2	31-05-2017
		JP 2014110180 A	12-06-2014
		US 2014152198 A1	05-06-2014
CA 492901 A	12-05-1953	AUCUN	
US 2019304645 A1	03-10-2019	CN 110317975 A	11-10-2019
		EP 3546095 A1	02-10-2019
		JP 7087558 B2	21-06-2022
		JP 2019173127 A	10-10-2019
		US 2019304645 A1	03-10-2019



OPINION ÉCRITE

Dossier N° SN82995	Date du dépôt(jour/mois/année) 23.12.2022	Date de priorité (jour/mois/année)	Demande n° BE202206078
Classification internationale des brevets (CIB) INV. H05H13/02 H01F7/20			
Déposant NanoMarker SPRL			

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- ☒ Cadre n° I Base de l'opinion
- ☐ Cadre n° II Priorité
- ☐ Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- ☐ Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- ☒ Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- ☐ Cadre n° VI Certains documents cités
- ☐ Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- ☒ Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

Formulaire BE237A (feuille de couverture) (Juillet 2022)	Examineur Clemente, Gianluigi
--	----------------------------------

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE202206078

Cadre n° I Base de l'opinion

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.
2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée sur la base d'un listage des séquences
 - a. ☐ faisant partie de la demande telle que déposée.
 - b. ☐ remis postérieurement à la date du dépôt aux fins de la recherche,
☐ accompagné d'une déclaration selon laquelle le listage des séquences ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée.
3. ☐ En ce qui concerne la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée dans la mesure où une opinion valable pouvait être formulée en l'absence d'un listage des séquences conforme à la norme ST.26 de l'OMPI.
4. Commentaires complémentaires :

Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui :	Revendications	7, 8, 12-14, 16
	Non :	Revendications	1-6, 9-11, 15
Activité inventive	Oui :	Revendications	
	Non :	Revendications	1-16
Possibilité d'application industrielle	Oui :	Revendications	1-16
	Non :	Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

voir feuille séparée

Ad point VIII

Certaines observations relatives à la demande

1 Les revendications 1, 7 et 9 ne sont pas claires.

1.1 L'utilisation de l'expression "notamment" dans la **revendication 1** introduit une ambiguïté et rend la portée de la revendication imprécise, car il n'est pas clair si cette expression limite ou non l'objet de la revendication.

L'objet de la revendication 1 n'est donc pas clair.

Le demandeur est de toute façon informé que la présente opinion écrite a été rédigée suivant l'interprétation selon laquelle l'expression "notamment" n'est nullement limitative et elle ne définit que des caractéristiques optionnelles.

1.2 La **revendication 7** se réfère à l'alliage de fer et de cobalt de la culasse. Toutefois, aucune des revendications précédentes ne définit le fait que la culasse comprend un tel alliage.

L'objet de la revendication 7 n'est donc pas clair.

1.3 La **revendication 8** tente de définir la culasse et/ou la pluralité de pôles par leurs procédés de fabrication. Toutefois, une revendication qui définit un produit par un procédé doit être interprétée comme une revendication portant sur le produit en tant que tel. Le contenu technique de l'invention réside non pas dans le procédé en tant que tel, mais dans les propriétés techniques que ce procédé confère au produit.

Par conséquent, les procédés de fabrication définis dans cette revendication ne limitent pas la portée de la revendication.

L'objet de la revendication 9 n'est donc pas clair et/ou concis.

Ad point V

Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration

Il est fait référence aux documents suivants :

- | | |
|----|---|
| D1 | WO 2020/257652 A1 (ANTAYA SCIENCE & TECH [US]) 24 décembre 2020 (2020-12-24) |
| D2 | US 2014/152198 A1 (MITSUMOTO TOSHINORI [JP]) 5 juin 2014 (2014-06-05) |
| D3 | DANIEL WINKLEHNER ET AL: "High intensity cyclotrons for neutrino physics",
ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY |

CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 10 juillet 2018 (2018-07-10),
XP081426503,
DOI: 10.1016/J.NIMA.2018.07.036

D4 CA 492 901 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 12 mai 1953
(1953-05-12)

D5 US 2019/304645 A1 (MURAI TAKAYUKI [JP]) 3 octobre 2019 (2019-10-03)

D6 LI SHIHAO ET AL: "3D printing of ductile equiatomic Fe-Co alloy for soft
magnetic applications",
ADDITIVE MANUFACTURING, ELSEVIER, NL,
vol. 47, 10 septembre 2021 (2021-09-10), XP086891888,
ISSN: 2214-8604, DOI: 10.1016/J.ADDMA.2021.102291
[extrait le 2021-09-10]

2 La présente demande ne remplit pas les conditions de brevetabilité, l'objet des revendications 1-6, 9-11 et 15, n'étant pas nouveau.

2.1 En ce qui concerne la **revendication indépendante 1**, le document D1 (les références entre parenthèses s'appliquent à ce document) divulgue (Fig.1) :

Cyclotron (17) pour la production de radionucléides pour applications médicales (page 3 lignes 19 et 20), le cyclotron comprenant

- un électroaimant (18, 20, 22, 24) configuré pour fournir un champ magnétique, l'électroaimant comprenant une culasse (22), deux pôles (20) et au moins une bobine (18, 24) ;

- un résonateur, notamment un résonateur haute fréquence, configuré pour accélérer la vitesse d'une particule chargée (page 2 lignes 33 et 34) ;

et dans lequel chaque pôle (20) est choisi parmi

- i) un pôle comprenant un matériau (Holmium, page 5 lignes 6 et 7) ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T, notamment un pôle comprenant au moins 80% en poids d'un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T (page 8 ligne 20, page 9 ligne 10); ou

- ii) un pôle qui est un pôle en alliage de fer et de cobalt, notamment un alliage de fer et de cobalt comprenant de 14 à 55 % en poids de cobalt, de préférence de 20 à 50% en poids de cobalt, le reste étant du fer et des impuretés inévitables.

2.1.1 De plus, le document D2 (les références entre parenthèses s'appliquent à ce document) divulgue également (Fig.1):

Cyclotron (1) pour la production de radionucléides pour applications médicales (alinéa 21),

le cyclotron comprenant

- un électroaimant (2-4) configuré pour fournir un champ magnétique,

l'électroaimant comprenant une culasse (2), deux pôles (12, 13) et au moins une bobine (14, 15) ;

- un résonateur (5), notamment un résonateur haute fréquence, configuré pour accélérer la vitesse d'une particule chargée ;

et dans lequel chaque pôle est choisi parmi

- i) un pôle comprenant un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T, notamment un pôle comprenant au moins 80% en poids d'un matériau ayant une saturation magnétique d'au moins 1,95 T ; ou

- ii) un pôle qui est un pôle en alliage de fer et de cobalt, notamment un alliage de fer et de cobalt comprenant de 14 à 55 % en poids de cobalt, de préférence de 20 à 50% en poids de cobalt, le reste étant du fer et des impuretés inévitables (alinéa 26).

L'objet de la revendication 1 n'est donc pas nouveau.

2.1.2 De plus, l'objet de la revendications 1 n'est pas nouveau non plus aussi par rapport à D3 (fig.10, Tab.1 et page 8) et D4 (figs.1-2, page 2 lignes 26-29 et page 4 lignes 11-30).

2.2 En ce qui concerne la **revendication indépendante 15**, le document D2 divulgue également (alinéas 23 et 26):

l'utilisation d'un matériau en alliage de fer et de cobalt pour fabriquer au moins 80% en poids d'un pôle (alinéa 26) et optionnellement au moins 80% d'une culasse (alinéa 23) d'un cyclotron (1) afin de réduire la taille et le poids du cyclotron, et notamment dans laquelle le cyclotron (1) est un cyclotron pour la production de radionucléides pour applications médicales (alinéa 21).

L'objet de la revendication 15 n'est donc pas nouveau.

2.3 En ce qui concerne :

- les **revendications 2 et 3**, les documents D1(fig.3 et 4), D2 (Fig.1 et alinéa 27) et D3 (figs.10 et 11) divulguent également la caractéristiques additionnelles selon lesquelles la culasse de l'électroaimant comprend une première partie de culasse et une deuxième partie de culasse, la première et la seconde partie de culasse étant configurées pour

être assemblées ensemble dans une configuration fermée, où - la première partie de culasse est une première partie de culasse unitaire ; et/ou - la seconde partie de culasse est une seconde partie de culasse unitaire.

- les **revendications 4 et 5**, le document D1 (fig.6 et 7) et D3 (figs.10 et 11) divulguent également les caractéristiques additionnelles selon lesquelles un ou chaque pôle comprend des secteurs sur l'une de ses surfaces principales, les secteurs formant une alternance de collines et de vallées, où les secteurs d'un pôle sont unitaires avec le pôle ;

- la **revendication 6**, le document D2 (fig.1) divulgue également la caractéristique additionnelle selon laquelle la culasse et chaque pôle comprend au moins 90% en poids, de préférence au moins 95% en poids, et encore plus préférentiellement au moins 99% en poids d'un alliage de fer et de cobalt (alinéa 23 et 26).

- la **revendication 9**, comme ci-dessus expliqué, cette revendication ne définit aucune caractéristique additionnelle par rapport à la revendication 1 ;

- la **revendication 10**, le document D1 (fig.10) divulgue également la caractéristique additionnelle selon laquelle le cyclotron est configuré pour produire des particules chargées à une énergie maximale d'au moins 6 MeV et inférieure à 25MeV, de préférence inférieure à 15MeV (ces particules sont produites à l'intérieur du cyclotron entre le rayons ~ 70 - ~ 150 mm) ;

- la **revendication 11**, le document D1 (fig.6) divulgue également la caractéristique additionnelle selon laquelle le diamètre d'un ou de chaque pôle est ≤ 1 , m, de préférence ≤ 0.75 m, encore plus préférentiellement $\leq 0,6$ m.

L'objet des revendications 2-6 et 9-11 n'est pas donc pas nouveaux.

3 La présente demande ne remplit pas les conditions de brevetabilité, l'objet des revendications 7, 8 et 12-14 et 16 n'impliquant pas d'activité inventive.

3.1 Le document D2 (les références entre parenthèses s'appliquent à ce document), qui est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la **revendication indépendante 12**, divulgue (Fig.1):

Méthode de production d'un élément d'un cyclotron en un alliage comprenant du fer et du cobalt, dans lequel l'élément d'un cyclotron est sélectionné parmi un pôle, un secteur d'un pôle, une partie d'une culasse et une combinaison de ceux-ci (fig.1: il est implicite que les pôles 3 ont été produits avec une méthode de production).

Par conséquent, l'objet de la revendication 12 diffère de la méthode connue de D2 en ce qu'elle comprend :

- mettre à disposition un alliage de fer et de cobalt sous forme particulière ; et ensuite
- soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulière à un procédé de

pressage isostatique à chaud ;

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme celui de fournir un élément d'un cyclotron avec une haute masse volumique et densité magnétique.

Cependant, comme divulgué dans D5, il est connu de produire de composants magnétiques comprenant du fer et du cobalt sous forme particulière (D5 Par.81), qui est soumise à un procédé de pressage isostatique à chaud (D5 par.104) afin de fournir un composant avec une masse volumique et densité magnétique augmentée (Par.102).

L'homme du métier fabriquerait donc les pôles de D2 en utilisant la méthode connue de D5 sans faire preuve d'esprit inventif.

L'objet de la revendication 12 n'est donc pas inventif.

3.2 Le document D2 (les références entre parenthèses s'appliquent à ce document), qui est aussi considéré comme représentant de l'état de la technique le plus proche de l'objet de la **revendication indépendante 14**, divulgue (Fig.11):

Méthode de production d'un élément d'un cyclotron en un alliage comprenant du fer et du cobalt (fig.1 et par.26: il est implicite que le pôles 3 ont été produites avec une méthode de production)),

Par conséquent, l'objet de la revendication 14 diffère de la méthode connue de D3 en ce qu'elle comprend :

- mettre à disposition une matière première adaptée à la fabrication additive en alliage de fer et de cobalt ; et
- soumettre la matière première en alliage de fer et de cobalt à un procédé de fabrication additive.

Les problèmes que la présente invention se propose de résoudre peuvent donc être considérés comme celui d'économiser la matière nécessaire à la fabrication et celui d'éliminer quasi toute opération d'usinage ultérieure.

Cependant, comme divulgué dans D6 (titre), il est bien connu de produire de composants magnétiques en alliage de Fe-Co (la même de D2) comprenant du fer et du cobalt adaptés à une fabrication additive, puis soumises à un procédé de fabrication additive (voir D6 titre) afin d'économiser la matière nécessaire à la fabrication et d'éliminer quasi toute opération d'usinage ultérieure (page 8).

L'homme du métier fabriquerait donc les pôles de D2 en utilisant la méthode connue de D6 sans faire preuve d'esprit inventif.

L'objet de la revendication 14 n'est donc pas inventif.

3.3 En ce qui concerne la **revendication 7**, la caractéristique additionnelle selon laquelle l'alliage de fer et de cobalt comprend du cobalt dans la gamme de 14 à 55% en poids, de préférence dans la gamme de 20 à 30% en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables,

est également connue par D4 (page 4) pour obtenir un cyclotron compact.

L'homme du métier utiliserait donc l'alliage de D4 dans le cyclotron connu de D2 sans faire preuve d'esprit inventif.

3.4 En ce qui concerne la **revendication 8**, la caractéristique additionnelle selon laquelle la masse du cyclotron dépourvu d'un bouclier de blindage radiologique est inférieure à 3 tonnes ne représente que l'une des options que l'homme du métier sélectionnerait, selon le cas, parmi plusieurs possibilités évidentes, afin d'obtenir un cyclotron compact;

L'objet de la revendication 8 n'est donc pas inventif.

3.5 En ce qui concerne la **revendication 13**, les caractéristiques additionnelles selon lesquelles soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulière à un procédé de pressage isostatique à chaud comprend soumettre l'alliage de fer et de cobalt sous forme particulière à - une pression d'au moins 50MPa, d'au moins 100 MPa et/ou de moins de 300MPa, de moins de 250MPa ; et/ou

- une température d'au moins 400°C, d'au moins 600°C, d'au moins 800°C et/ou de moins de 1300°C, de moins de 1000°C

sont également connues par D5 (par.106).

L'objet de la revendication 13 n'est donc pas inventif.

3.6 En ce qui concerne la **revendication 16**, la caractéristique additionnelle selon laquelle l'alliage de fer et de cobalt comprend du cobalt dans la gamme de 14 à 55% en poids, de préférence dans la gamme de 20 à 30% en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitable

est également connue par D4 (page 4).

L'homme du métier utiliserait donc l'alliage de D4 dans l'utilisation connue de D2 sans faire preuve d'esprit inventif.

L'objet de la revendication 16 n'est donc pas inventif.