



## Description

### Titre de l'invention : Cyclotron à bi-secteurs séparés

#### Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne les accélérateurs de particules, et plus particulièrement les cyclotrons. Ces derniers constituent une solution intéressante pour accélérer des particules lourdes, protons et autres ions, à de hautes énergies pour diverses applications médicales, industrielles ou dans le domaine de la recherche en physique nucléaire.
- [0002] L'invention concerne plus particulièrement les cyclotrons à secteurs séparés non spiralés et à vallées entre les secteurs dans lesquelles le sens du champ magnétique des secteurs est localement inversé.
- [0003] Dans le type classique de cyclotrons à secteurs séparés, les structures magnétiques des électroaimants se composent d'un circuit magnétique comprenant des culasses horizontales et des retours de culasse joignant les culasses horizontales. Des bobines d'excitation sont disposées autour de deux pièces polaires fixées aux culasses horizontales. L'ensemble constitué par le circuit magnétique et les bobines d'excitation est symétrique par rapport à un plan horizontal dénommé plan médian autour duquel sont accélérées et guidées les particules.
- [0004] Deux exemples de structures magnétiques à secteurs séparés permettant l'accélération de faisceaux intenses sont décrits dans les publications suivantes: C.Baumgarten, Current limits of PSI's High Power Cyclotrons: Theory and Practice, September 2021 (cas classique de cyclotron à secteurs séparés spiralés) et P. Mandrillon and M. Conjat "Single Stage Cyclotron for an ADS"; Proceedings of the Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications (Zurich-2016), pp. 387-393 (cas de cyclotron à secteurs séparés non spiralés et à vallées à champ magnétique inversé)
- [0005] Dans cette dernière publication, il est proposé un cyclotron comportant une bobine d'excitation unique. La bobine d'excitation décrite présente une forme particulière lui permettant d'inverser le champ magnétique entre les pièces polaires des secteurs. Une telle configuration permet d'améliorer la focalisation des faisceaux de particules ainsi que leur extraction. Toutefois, la fabrication d'une telle bobine peut s'avérer compliquée.
- [0006] Il existe un besoin pour accroître encore les performances des cyclotrons afin de permettre notamment la réalisation de cyclotrons, en particulier isochrones et non-supraconducteurs, capables d'accélérer des particules à des énergies comprises entre 10 et environ 100 MeV et avec une intensité relativement importante si cela est recherché, et qui soit par ailleurs de fabrication relativement simple, de fonctionnement fiable et compatible avec une fabrication sous encombrement relativement réduit.

[0007] Afin d'extraire des faisceaux de forte intensité sans pertes, il demeure aussi un besoin impératif de simplifier l'extraction de faisceaux accélérés.

### **Exposé de l'invention**

[0008] L'invention vise à répondre à tout ou partie de ces besoins et a pour objet un cyclotron à secteurs séparés, comportant :

[0009] - une pluralité de secteurs dits « secteurs principaux » comportant chacun une culasse ferromagnétique et une bobine d'excitation associée à chaque secteur principal montée sur un retour de la culasse, chaque secteur principal comportant une fente s'étendant radialement à partir d'une distance prédéfinie du centre du cyclotron, ladite fente séparant le secteur principal en deux secteurs secondaires,

[0010] - entre les secteurs principaux, des cavités accélératrices et des paires de bobines d'inversion de champ, distinctes des bobines d'excitation et disposées de part et d'autre du plan médian du cyclotron.

[0011] Les bobines d'inversion de champ permettent de générer un champ magnétique d'orientation inverse à celui généré par les bobines d'excitation. De préférence, les particules ne sont soumises à cette inversion du champ magnétique entre les secteurs qu'à partir d'un certain rayon de trajectoire.

[0012] Cette inversion du champ magnétique au niveau du plan médian entre les secteurs présente plusieurs avantages.

[0013] Tout d'abord, elle permet d'éviter la spiralisation des secteurs et d'accroître les propriétés de focalisation verticale permettant l'accélération des particules jusqu'à des énergies élevées. De préférence, les secteurs principaux présentent chacun un plan de symétrie passant par le centre du cyclotron. Par conséquent, les secteurs principaux présentent une forme non spiralée, ce qui permet de gagner en compacité et de disposer de davantage de place pour les cavités accélératrices et les bobines d'inversion de champ.

[0014] En outre, grâce à cette inversion de champ, les centres de courbure des trajectoires entre les secteurs sont à l'extérieur du cyclotron, la trajectoire des particules extraites est donc beaucoup plus courte et l'extraction du faisceau accéléré s'en trouve facilitée. Eventuellement, aucune pièce nécessaire à la déviation du faisceau extrait n'est tenue de traverser le plan médian.

[0015] L'invention peut ainsi permettre, notamment dans le cas d'une extraction à tours séparés, d'éviter l'emploi d'un septum et de limiter ainsi les problèmes d'activation que cela entraîne.

[0016] D'autre part, disposer de bobines d'inversion de champ distinctes des bobines d'excitation permet une simplification du cyclotron.

[0017] Dans la présente invention, chaque secteur principal est divisé en deux secteurs se-

condaires par une fente en gardant une seule culasse de retour. Cela permet d'améliorer la focalisation verticale des faisceaux.

- [0018] Cette configuration en bi-secteurs permet de doubler la structure magnétique périodique des pôles des secteurs principaux. Cela permet d'éviter des résonances des oscillations horizontales, dites bétatroniques, limitant l'énergie maximale du cyclotron et autorisant ainsi l'accélération à de plus hautes énergies.
- [0019] Par ailleurs, les fentes définissent des vallées secondaires qui sont utilisables pour plusieurs types de diagnostics de faisceau, indispensables pour l'accélération de faisceaux intenses.
- [0020] De préférence, chaque fente passe par un axe de symétrie du secteur principal correspondant.
- [0021] Les bobines d'inversion de champ peuvent être sans noyau.
- [0022] L'une au moins des cavités accélératrices peut présenter de préférence à la jonction de ses bords radialement extérieur et arrière une troncature. La troncature peut présenter une forme générale de biseau. La troncature peut s'étendre radialement plus loin que le rayon auquel le champ magnétique s'inverse. La troncature peut ainsi permettre de disposer d'espace utile pour l'extraction du faisceau accéléré. En particulier, la troncature permet d'installer un canal d'extraction, notamment un canal d'extraction produisant un gradient de champ magnétique nécessaire à la focalisation.
- [0023] Le bord arrière de la cavité est défini par rapport au sens de la trajectoire des particules, ce bord arrière correspondant au bord de la face de sortie de la cavité par les particules, par opposition au bord avant qui correspond au bord de la face d'entrée des particules dans la cavité.
- [0024] Le bord radialement extérieur correspond au bord de la cavité le plus éloigné de l'axe du cyclotron par opposition au bord radialement interne qui correspond au bord de la cavité le plus proche de l'axe du cyclotron.
- [0025] De préférence, chaque bobine d'excitation présente une forme sensiblement homothétique à celle du retour de culasse correspondant. Par exemple chaque bobine d'excitation est généralement réniforme.
- [0026] Chaque bobine d'excitation peut comporter au moins deux parties disposées de part et d'autre du plan médian.
- [0027] Chacune des parties de l'une au moins des bobines d'excitation peut s'écarter du plan médian de manière à définir une fenêtre de sortie intérieure du côté radialement intérieur de la bobine et une fenêtre de sortie extérieure du côté radialement extérieur de la bobine, ces fenêtres de sortie permettant l'extraction du faisceau accéléré.
- [0028] Chaque fenêtre de sortie présente de préférence une forme générale en chapeau de gendarme.
- [0029] Par « *forme en chapeau de gendarme* », on entend une forme présentant une portion

d'une certaine concavité qui se prolonge de chaque côté par une portion de concavité inverse.

- [0030] A titre d'exemple, les fenêtres de sortie intérieure et extérieure comportent chacune une portion concave vers le plan médian qui se prolonge de chaque côté par une portion de concavité inverse.
- [0031] L'une au moins des culasses peut comporter un passage de sortie traversant les fenêtres de sortie.
- [0032] Le cyclotron peut être à injection multiple, notamment axiale. Le cyclotron peut comporter à cet effet une ligne d'injection multiple, notamment deux lignes d'injection parallèles, telle que décrite dans la demande WO2020169846, incorporée ici par référence. On accélère ainsi simultanément plusieurs faisceaux, ce qui permet d'obtenir sur une grande période de temps une intensité moyenne plus élevée.
- [0033] Le cyclotron selon l'invention peut être à fréquence fixe, notamment du type cyclotron isochrone.
- [0034] Le cyclotron peut être non supraconducteur.
- [0035] L'énergie du faisceau de sortie est de préférence supérieure ou égale à 10 MeV, au mieux dans la gamme 30 à 100 MeV.
- [0036] L'intensité du faisceau de sortie est supérieure ou égale à 3 mA.
- [0037] Le cyclotron selon l'invention peut permettre de disposer d'un cyclotron capable d'accélérer et d'extraire, notamment sans pertes de faisceau au moins deux fois plus d'intensité que les cyclotrons isochrones actuels, notamment pour des applications dans les domaines de la production d'isotopes ou de hauts flux de neutrons.
- [0038] Les particules accélérées à l'aide du cyclotron selon l'invention peuvent être utilisées dans de nombreuses applications, par exemple la fabrication d'isotopes radioactifs en dirigeant le faisceau vers une cible, ou encore pour alimenter un réacteur nucléaire sous-critique piloté par accélérateur, dit « ADS », avec un cyclotron selon l'invention adapté pour des énergies plus élevées, par exemple plusieurs centaines de MeV.
- [0039] L'invention a encore pour objet une utilisation du système selon l'invention pour la production de radioisotopes médicaux et/ou le pilotage d'un petit réacteur sous-critique pour la production d'énergie nucléaire.

### **Brève description des dessins**

- [0040] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemple non limitatifs de mise en œuvre de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :
- [0041] [Fig.1] représente, de façon schématique et partielle en perspective, un exemple de cyclotron selon l'invention,
- [0042] [Fig.2] est une vue similaire à la [Fig.1] dans laquelle la partie supérieure d'un des

secteurs principaux est masquée,

[0043] [Fig.3] est une coupe horizontale réalisée dans le plan médian du cyclotron selon l'invention,

[0044] [Fig.4] représente l'accélération des particules dans le plan médian du cyclotron et l'extraction du faisceau à travers la culasse,

[0045] [Fig.5] est une autre vue en perspective du cyclotron de la [Fig.1], et

[0046] [Fig.6] représente une vue en perspective illustrant les secteurs secondaires d'un secteur principal du cyclotron de la [Fig.1].

### **Description détaillée**

[0047] On a illustré à la [Fig.1] un exemple de cyclotron 1, à trois secteurs principaux séparés selon l'invention.

[0048] Comme illustré, le cyclotron 1 comporte des secteurs principaux 10. Ces secteurs 10 sont répartis autour de l'axe X du cyclotron et séparés par des régions appelées « vallées principales » 20. Les secteurs principaux présentent chacun un axe de symétrie Y passant par le centre du cyclotron.

[0049] Les secteurs 10 définissent chacun un entrefer, sous vide, dans lequel se propage le faisceau de particules accélérées, le cyclotron présentant globalement une structure symétrique par rapport à un plan médian PM, qui est de préférence horizontal.

[0050] Les secteurs 10 comportent une culasse ferromagnétique 13 et des bobines d'excitation 30 portées par le retour des culasses 15. Les bobines d'excitation 30 génèrent un champ magnétique sensiblement perpendiculaire au plan médian. Ce champ magnétique permet de guider les particules accélérées selon une trajectoire autour de l'axe du cyclotron.

[0051] Dans l'exemple illustré, chaque bobine d'excitation présente une forme sensiblement homothétique de celle du retour de culasse 15 la portant et est dans l'exemple illustré réniforme.

[0052] Comme illustré à la [Fig.2], chaque secteur principal 10 est divisé en deux secteurs secondaires 11 par une fente 12 passant par l'axe de symétrie Y du secteur principal.

[0053] La fente 12 s'étend radialement à partir d'un rayon  $r$  prédéfini et définit ainsi une vallée secondaire 22 entre les secteurs secondaires 11.

[0054] Ainsi, dans l'exemple illustré, une structure à 3 secteurs principaux forme une structure « pseudo-6 secteurs ». Ce principe de « bi-secteur » ne se limite pas à 3 secteurs principaux.

[0055] Dans cet exemple, chaque bobine d'excitation 30 comporte deux parties rapprochées axialement et disposées de part et d'autre du plan médian PM.

[0056] Le cyclotron 1 comporte des cavités accélératrices 40 qui produisent un champ électrique radiofréquence (RF) permettant d'accélérer les particules injectées dans le

cyclotron.

- [0057] L'injection des particules à accélérer dans le cyclotron peut s'effectuer de diverses façons. Il est préférable de réaliser une multi-injection, avec des points d'injection répartis angulairement autour de l'axe X du cyclotron. Dans ces conditions, le cyclotron peut accélérer simultanément plusieurs faisceaux injectés en ces emplacements.
- [0058] Dans l'exemple illustré aux figures 1 et 2, une ligne d'injection 50 est disposée le long de l'axe central X du cyclotron. Cette ligne 50 comporte une plateforme Haute Tension pour les sources d'ions 51 un premier système de guidage et de focalisation 53, une cavité résonnante dite groupeur 55, un deuxième système de guidage et/ou de focalisation 57, une deuxième cavité résonnante de groupement (non représentée) et des systèmes de déviation (non représentés) permettant d'injecter les particules chargées dans les zones voulues des cavités accélératrices.
- [0059] Le cyclotron 1 comporte également des paires de bobines d'inversion de champ 60 disposées dans les vallées principales 20. Ces bobines d'inversion de champ 60 sont distinctes des bobines d'excitation 30, c'est-à-dire les bobines 60 ne disposent pas de portion commune avec les bobines d'excitation 30.
- [0060] Comme cela est visible à la [Fig.1], les bobines 60 de chaque paire sont disposées respectivement au-dessus et en dessous du plan médian. Les bobines d'inversion de champ sont de préférence sans noyau, comme illustré.
- [0061] Un tel agencement des bobines d'inversion de champ permet de générer dans les vallées principales un champ magnétique d'orientation inverse de celui des secteurs. A partir d'un certain rayon, le champ magnétique au niveau du plan médian dans les vallées principales s'inverse et devient négatif, inversant le sens de courbure des trajectoires, comme cela est visible à la [Fig.4].
- [0062] L'introduction de champ inverse dans les vallées 20 permet d'accroître les propriétés de focalisation verticale permettant l'accélération du faisceau de particules jusqu'à des énergies élevées.
- [0063] Le cyclotron 1 convient à une extraction dite à tours séparés, en faisant en sorte que deux trajectoires consécutives soient décalées radialement suffisamment pour permettre la déviation du faisceau sur son dernier tour.
- [0064] Comme illustré à la [Fig.4], en présence du champ inverse dans les vallées 20, les centres de courbure des trajectoires des particules dans les vallées sont à l'extérieur du cyclotron quand le rayon des trajectoires augmente. L'extraction de faisceau accéléré est par conséquent facilitée. Cette extraction peut être obtenue sans la nécessité d'introduire des pièces dans le plan médian entre le faisceau extrait et la dernière orbite interne pour créer la courbure précitée.
- [0065] Dans la zone d'extraction, la cavité accélératrice 40 présente à la jonction de ses

bords radialement extérieur 42 et arrière 43 une troncature 45 en forme de biseau. La troncature 45 s'étend plus loin que le rayon auquel le champ magnétique s'inverse dans la vallée 20, comme illustré à la [Fig.3]. Cela permet d'installer un canal d'extraction à gradient du faisceau accéléré, comme cela est visible à la [Fig.4].

- [0066] Dans cette zone d'extraction, comme cela est visible en particulier aux figures 5 et 6, les deux parties 32 et 34 d'au moins une bobine d'excitation s'écartent du plan médian pour définir une fenêtre de sortie 35 intérieure du côté radialement intérieur de la bobine et une fenêtre de sortie 37 extérieure du côté radialement extérieur de la bobine. Ces fenêtres de sortie permettent l'extraction du faisceau accéléré à travers la culasse.
- [0067] Chaque fenêtre de sortie présente ainsi une forme générale en chapeau de gendarme.
- [0068] En particulier, les fenêtres de sortie intérieure 35 et 37 comportent chacune une portion concave vers le plan médian qui se prolonge de chaque côté par une portion de concavité inverse.
- [0069] La culasse 13 portant la bobine d'excitation 30 présentant les deux fenêtres de sortie comporte un passage d'extraction traversant les fenêtres de sortie.
- [0070] L'invention n'est pas limitée à l'exemple qui vient d'être décrit.
- [0071] Le nombre des secteurs principaux peut être différent de celui représenté sur les figures.
- [0072] Les bobines d'excitation entourent les culasses de retour peuvent avoir une forme adaptée à ces culasses.
- [0073] Les bobines d'excitation et/ou d'inversion de champ peuvent être supraconductrices.

## Revendications

- [Revendication 1]      Cyclotron (1) à secteurs séparés, comportant
- Une pluralité de secteurs (10), dits « secteurs principaux », comportant chacun une culasse ferromagnétique (13) et une bobine d'excitation (30) associée montée sur un retour de la culasse (15), chaque secteur principal (10) comportant une fente (12) s'étendant radialement à partir d'une distance prédéfinie du centre du cyclotron, ladite fente séparant le secteur principal en deux secteurs secondaires (11),
  - entre les secteurs principaux (15), des cavités accélératrices (40) et des paires de bobines d'inversion de champ (60), distinctes des bobines d'excitation (30) et disposées de part et d'autre du plan médian (PM) du cyclotron (1).
- [Revendication 2]      Cyclotron selon la revendication 1, l'une au moins des cavités accélératrices (30) présentant à la jonction de ses bords radialement extérieur (42) et arrière (43) une troncature (45).
- [Revendication 3]      Cyclotron selon l'une des revendications précédentes, chaque bobine d'excitation (30) comportant au moins deux parties (32 ; 34) disposées de part et d'autre du plan médian.
- [Revendication 4]      Cyclotron selon la revendication précédente, les deux parties de l'une au moins des bobines d'excitation (30) s'écartant du plan médian pour définir une fenêtre de sortie intérieure (35) du côté radialement intérieur de la bobine et une fenêtre de sortie extérieure (37) du côté radialement extérieur de la bobine, ces fenêtres de sortie permettant l'extraction d'un faisceau accéléré.
- [Revendication 5]      Cyclotron selon la revendication précédente, chaque fenêtre de sortie (35 ; 37) présentant une forme générale en chapeau de gendarme.
- [Revendication 6]      Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'une au moins des culasses comportant un passage de sortie (19) traversant les fenêtres de sortie (35 ; 37).
- [Revendication 7]      Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, chaque bobine d'excitation (30) ayant une forme générale réniforme, adaptée au profil des culasses.
- [Revendication 8]      Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, étant à injection multiple, le cyclotron comportant au moins deux lignes

d'injection parallèles.

[Revendication 9]

Utilisation du système selon la revendication précédente pour la production de radioisotopes médicaux et/ou le pilotage d'un petit réacteur sous-critique pour la production d'énergie nucléaire.

[Fig. 1]

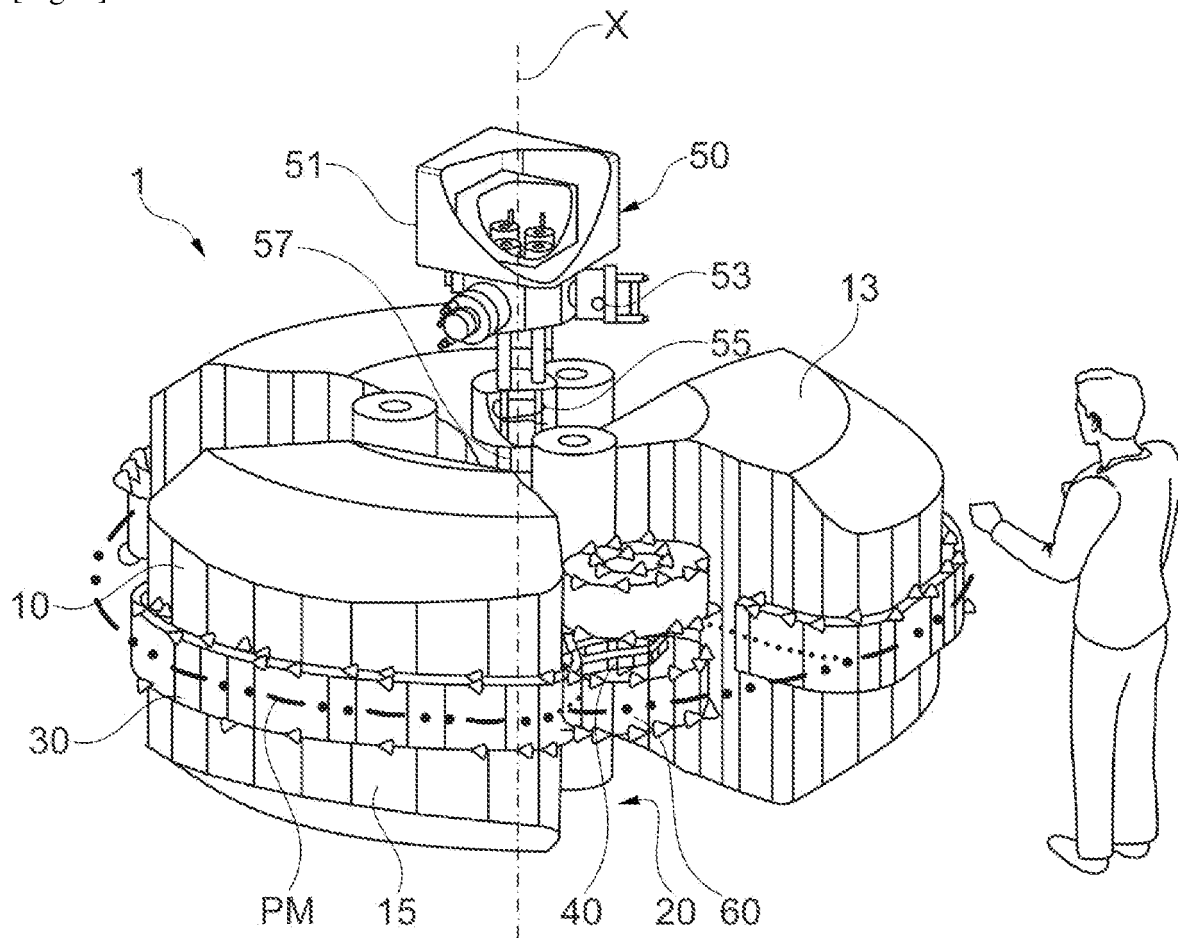


Fig. 1

[Fig. 2]

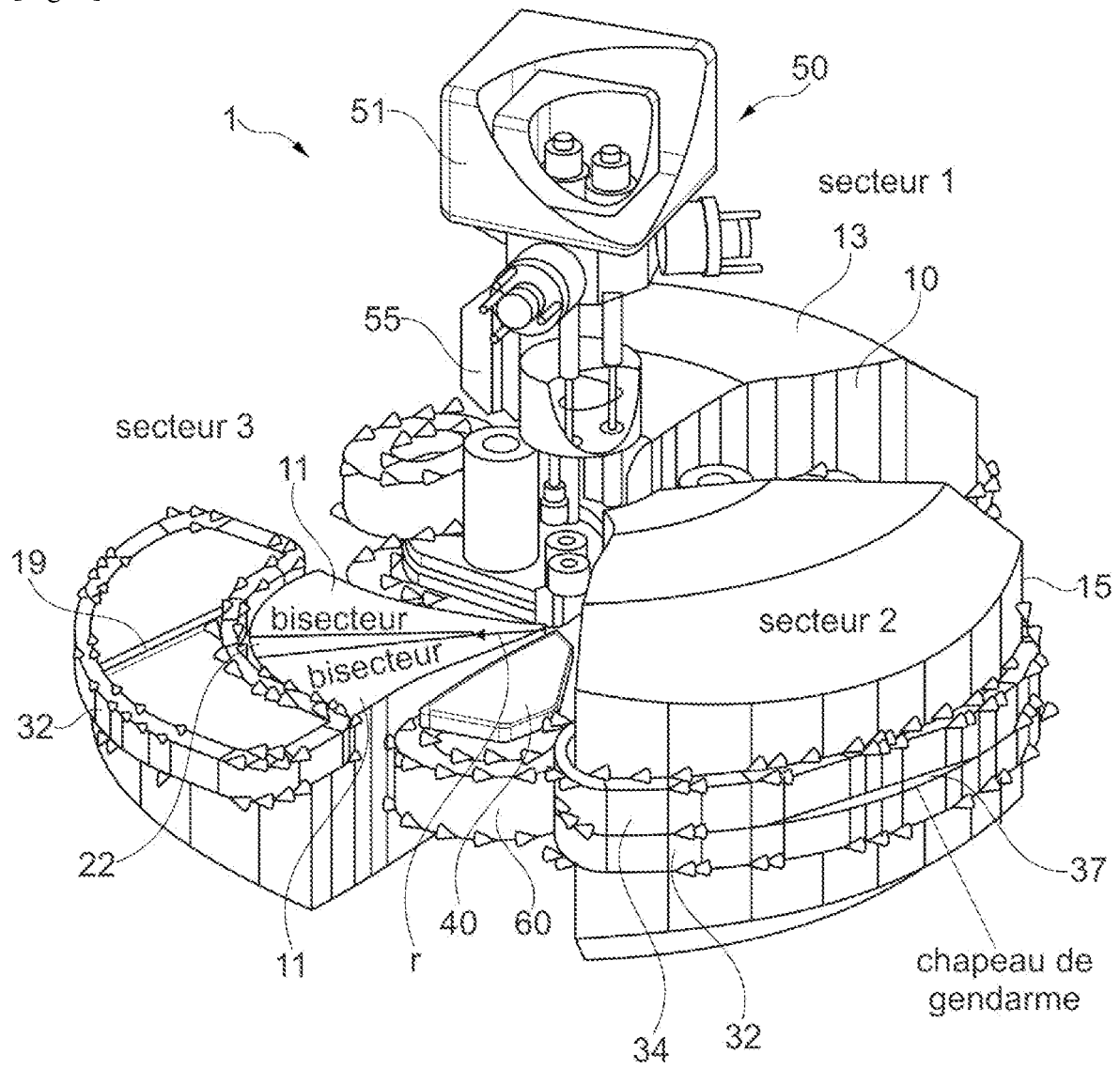


Fig. 2

[Fig. 3]

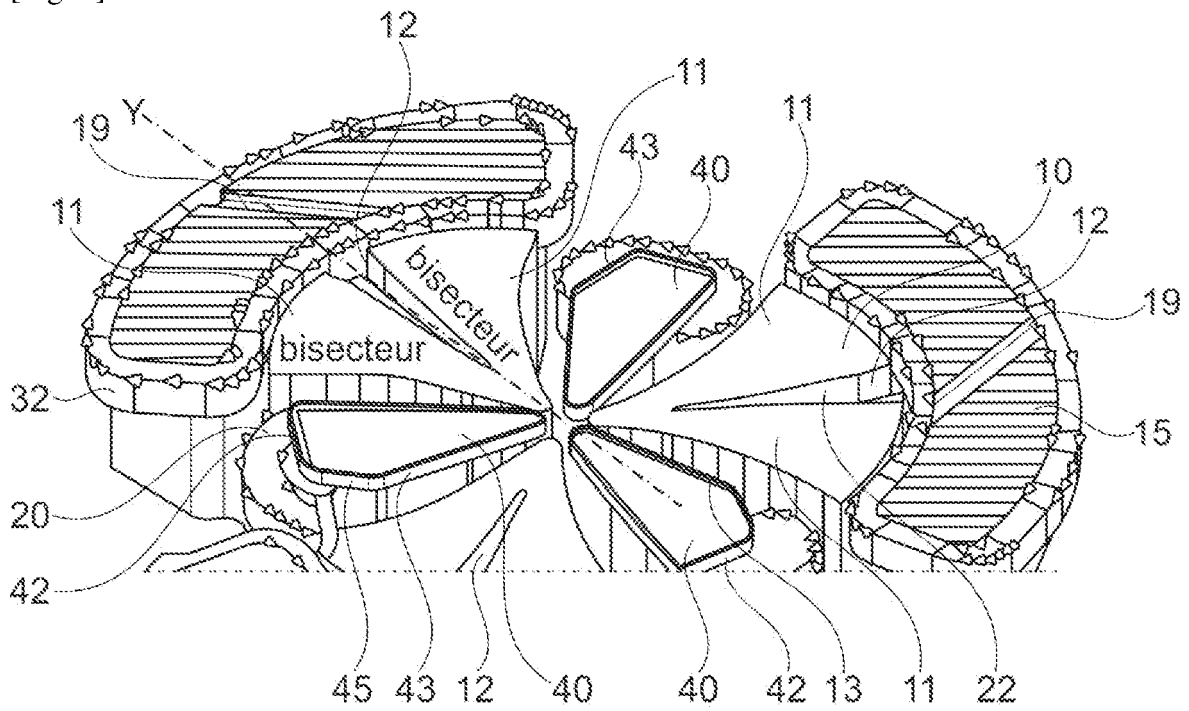


Fig. 3

[Fig. 4]

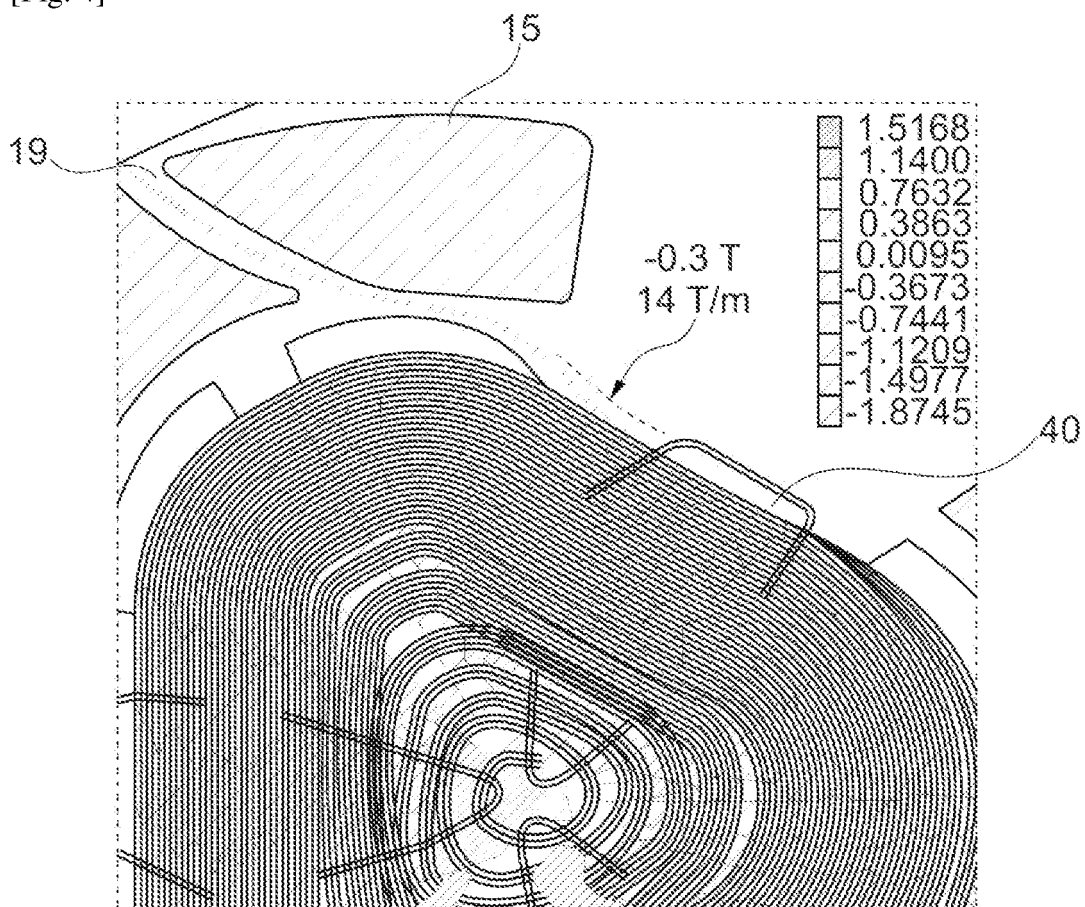


Fig. 4

[Fig. 5]

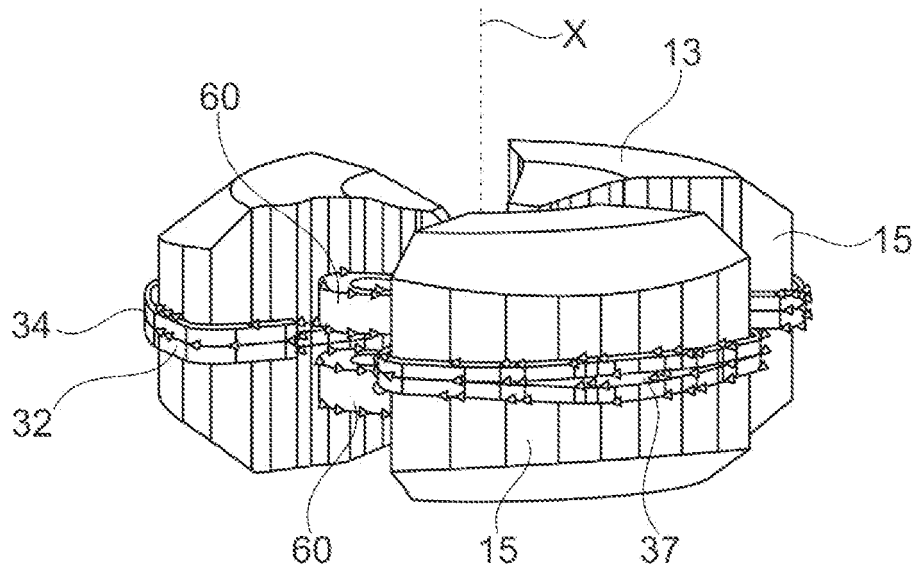


Fig. 5

[Fig. 6]

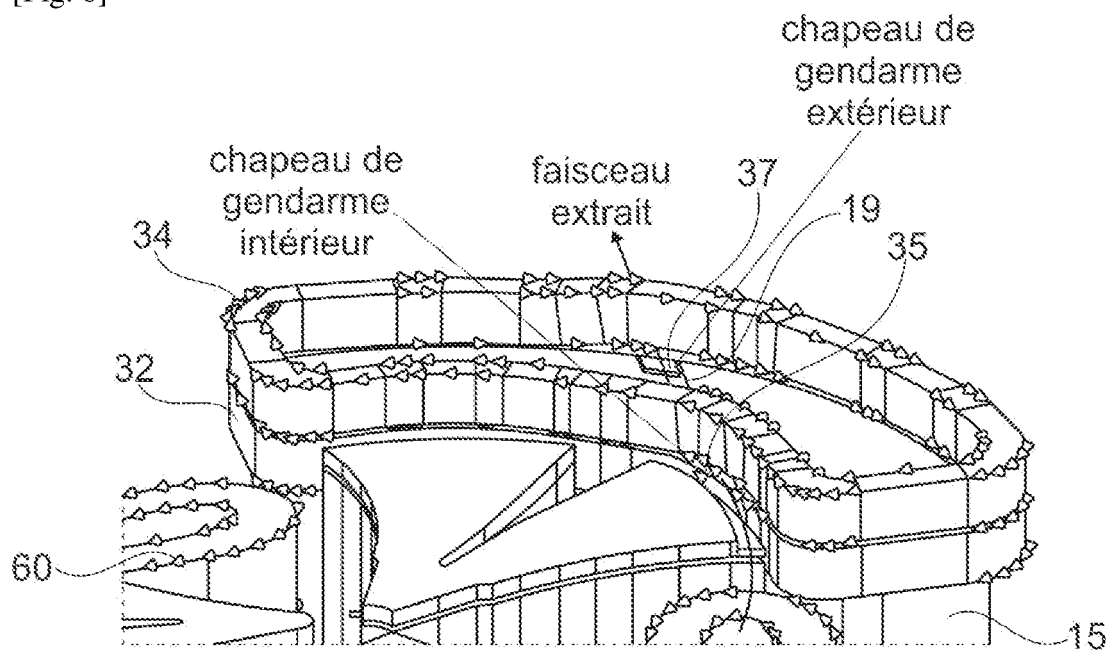


Fig. 6

## RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

**FA 905865**  
**FR 2202057**

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Revendication(s)<br>concernée(s) | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                  |                                                                    |
| <b>X</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>YANO Y ET AL: "BEAM INJECTION AND<br/>EXTRACTION SYSTEM FOR THE IPCR SSC",<br/>PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL<br/>CONFERENCE ON CYCLOTRONS AND THEIR<br/>APPLICATIONS,<br/>1 octobre 2013 (2013-10-01), pages<br/>743-745, XP055972548,</b>                                                                                                                | <b>1-3, 7</b>                    | <b>H05H13/00<br/>H05H7/18<br/>H01H50/36</b>                        |
| <b>Y</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>* figures 1,3,5 *</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>8, 9</b>                      |                                                                    |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>* page 473 - page 475 *</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>4-6</b>                       |                                                                    |
| <b>Y,D</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p style="text-align: center;">-----</p> <b>MANDRILLON P ET AL: "SINGLE STAGE<br/>CYCLOTRON FOR AN ADS THE PIONEERS OF HIGH<br/>POWER CYCLOTRONS",<br/>PROCEEDINGS OF THE 21ST INTERNATIONAL<br/>CONFERENCE ON CYCLOTRONS AND THEIR<br/>APPLICATIONS,<br/>1 janvier 2017 (2017-01-01), pages<br/>387-393, XP055972575,<br/>* figures 1-4,10,17 *<br/>* abrégé *</b> | <b>9</b>                         |                                                                    |
| <b>Y,D</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p style="text-align: center;">-----</p> <b>WO 2020/169846 A1 (AIMA DEV [FR])<br/>27 août 2020 (2020-08-27)<br/>* page 4, ligne 1 - page 7, ligne 13 *<br/>* figure 1 *</b>                                                                                                                                                                                         | <b>8</b>                         | <b>DOMAINES TECHNIQUES<br/>RECHERCHÉS (IPC)</b><br><br><b>H05H</b> |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p style="text-align: center;">-----</p> <b>FR 2 544 580 A1 (CGR MEV [FR])<br/>19 octobre 1984 (1984-10-19)<br/>* figures 1, 2 *<br/>* page 1, ligne 5 - page 7, ligne 27 *</b>                                                                                                                                                                                     | <b>1-8</b>                       |                                                                    |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p style="text-align: center;">-----</p> <b>JP S63 307699 A (MIURA IWAO; SAITO TAKANE;<br/>SHIMIZU AKIRA; SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES)<br/>15 décembre 1988 (1988-12-15)<br/>* figures 1, 2 *<br/>* abrégé *</b>                                                                                                                                                      | <b>1-9</b>                       |                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p style="text-align: center;">-----</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                  |                                                                    |
| Date d'achèvement de la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Examineur                        |                                                                    |
| <b>19 octobre 2022</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Clemente, Gianluigi</b>       |                                                                    |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br/>autre document de la même catégorie<br/>A : arrière-plan technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intercalaire</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br/>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br/>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>.....<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                  |                                                                    |

## RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

**FA 905865**  
**FR 2202057**

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Revendication(s)<br>concernée(s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                               | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>EP 3 244 708 A1 (ION BEAM APPL SA [BE])</b><br><b>15 novembre 2017 (2017-11-15)</b><br><b>* figure 6a *</b><br><b>* abrégé *</b><br><div style="text-align: center;">-----</div>                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1-9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                 |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>YANG JIANJUN ET AL: "Magnet Design of an</b><br><b>800 MeV High Power Proton Cyclotron",</b><br><b>IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED</b><br><b>SUPERCONDUCTIVITY, IEEE, USA,</b><br><b>vol. 26, no. 4, 1 juin 2016 (2016-06-01),</b><br><b>pages 1-4, XP011605380,</b><br><b>ISSN: 1051-8223, DOI:</b><br><b>10.1109/TASC.2016.2540005</b><br><b>[extrait le 2016-04-05]</b><br><b>* le document en entier *</b><br><div style="text-align: center;">-----</div> | 1-8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHÉS (IPC)         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |
| Date d'achèvement de la recherche                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Examineur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                 |
| <b>19 octobre 2022</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Clemente, Gianluigi</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                 |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS<br>X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br>autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>.....<br>& : membre de la même famille, document correspondant |                                                 |

# **ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE** **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2202057 FA 905865**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **19-10-2022**  
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| <b>WO 2020169846 A1</b>                         | <b>27-08-2020</b>      | <b>EP 4032373 A1</b>                    | <b>27-07-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>FR 3093269 A1</b>                    | <b>28-08-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>WO 2020169846 A1</b>                 | <b>27-08-2020</b>      |
| -----                                           |                        |                                         |                        |
| <b>FR 2544580 A1</b>                            | <b>19-10-1984</b>      | <b>EP 0128052 A1</b>                    | <b>12-12-1984</b>      |
|                                                 |                        | <b>FR 2544580 A1</b>                    | <b>19-10-1984</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 4639634 A</b>                     | <b>27-01-1987</b>      |
| -----                                           |                        |                                         |                        |
| <b>JP S63307699 A</b>                           | <b>15-12-1988</b>      | <b>JP H0766877 B2</b>                   | <b>19-07-1995</b>      |
|                                                 |                        | <b>JP S63307699 A</b>                   | <b>15-12-1988</b>      |
| -----                                           |                        |                                         |                        |
| <b>EP 3244708 A1</b>                            | <b>15-11-2017</b>      | <b>CA 2965640 A1</b>                    | <b>12-07-2017</b>      |
|                                                 |                        | <b>CN 107371317 A</b>                   | <b>21-11-2017</b>      |
|                                                 |                        | <b>CN 207460578 U</b>                   | <b>05-06-2018</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 3244708 A1</b>                    | <b>15-11-2017</b>      |
|                                                 |                        | <b>JP 6285593 B2</b>                    | <b>28-02-2018</b>      |
|                                                 |                        | <b>JP 2017204472 A</b>                  | <b>16-11-2017</b>      |
| -----                                           |                        |                                         |                        |