

(19)



(11)

EP 2 750 485 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
02.07.2014 Bulletin 2014/27

(51) Int Cl.:
H05H 9/00 (2006.01) H01J 23/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13195363.0**

(22) Date de dépôt: **02.12.2013**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME

(30) Priorité: **26.12.2012 FR 1203599**

(71) Demandeur: **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)

(72) Inventeurs:
• **Brasile, Jean-Pierre**
91190 GIF SUR YVETTE (FR)

- **Setty, Andrew**
46500 GRAMAT (FR)
- **Fasse, Dominique**
92622 GENNEVILLIERS CEDEX (FR)
- **Chauchat, Anne-Sophie**
92622 GENNEVILLIERS CEDEX (FR)
- **Siro, Patrick**
92622 GENNEVILLIERS CEDEX (FR)
- **Jousse, Dominique**
92622 GENNEVILLIERS CEDEX (FR)

(74) Mandataire: **Blot, Philippe Robert Emile**
Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

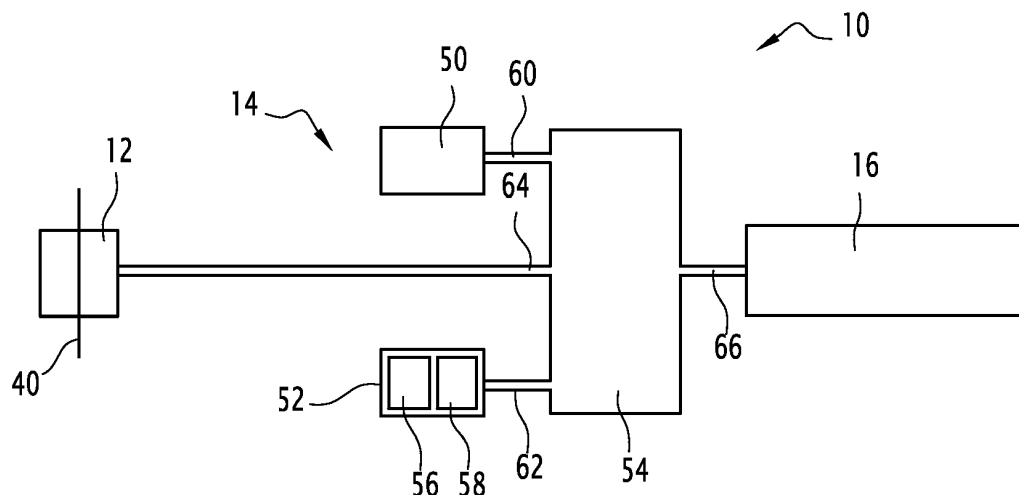
(54) **Procédé de controle du profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons**

(57) L'invention se rapporte à un procédé de contrôle d'un profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons en sortie d'une cavité radiofréquence conformée pour être en résonance avec une onde radiofréquence à une première fréquence et une onde radiofréquence à une deuxième fréquence, la deuxième fréquence étant un multiple de la première fréquence, le procédé étant caractérisé en ce que le procédé comprend une étape de :

- émission d'une première onde radiofréquence à la première fréquence, la première onde ayant une première

intensité,

- détermination de la deuxième intensité d'une deuxième onde radiofréquence à la deuxième fréquence pour que le faisceau d'électrons obtenu en sortie d'une cavité radiofréquence ait un profil temporel de vitesses désiré lorsque la cavité radiofréquence est alimentée par la première onde radiofréquence et la deuxième onde radiofréquence, et
- émission de la deuxième onde radiofréquence à la deuxième intensité déterminée.

**EP 2 750 485 A1**

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de contrôle du profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons. L'invention concerne également un système de contrôle du profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons adapté à la mise en oeuvre du procédé. L'invention se rapporte également au canon à électrons radiofréquence comprenant le système de contrôle.

[0002] Dans de nombreuses applications, il est souhaitable de disposer d'une source émettant des électrons groupés en impulsions courtes. Par impulsions courtes, il est entendu des électrons groupés dans une impulsion de quelques dizaines de picosecondes. A titre d'exemple, c'est notamment le cas lorsque les électrons sont à injecter dans des systèmes d'accélération du type accélérateur linéaire haute énergie.

[0003] Pour obtenir de telles impulsions courtes d'électrons, il est connu d'utiliser des canons à électrons dits radiofréquence.

[0004] Un canon à électrons radiofréquence comporte une source d'émission d'électrons et au moins une cavité à l'intérieur de laquelle se crée un champ électromagnétique oscillant. La cavité est propre à accélérer les électrons de la source d'électrons à des vitesses relativistes.

[0005] Dans le reste de la demande, la qualité du faisceau électronique émis par la source d'électrons est quantifiée par la mesure d'émittance. Ainsi, par un faisceau de « bonne qualité », il est entendu un faisceau dont l'émittance normalisée est inférieure à 20π mm mrad.

[0006] Plusieurs types de canons à électrons radiofréquence existent selon le type de la source d'émission d'électrons.

[0007] Dans l'état de la technique, il est notamment connu un canon à électrons utilisant une cathode à émission thermoïonique.

[0008] Dans une cathode à émission thermoïonique, la matière composant la cathode est portée à une température élevée pour induire une émission d'électrons. L'émission d'électron par la cathode est permanente dès que la matière de la cathode atteint une température seuil.

[0009] Du fait de l'émission constante des électrons, le nombre d'électrons émis par le canon à électrons est important. Les électrons sont accélérés avec une phase variant de 0° à 180° par rapport au champ radiofréquence.

[0010] Ces différentes phases engendrent une détérioration de la qualité d'émission du faisceau électronique émis.

[0011] Dans l'état de la technique, il est également proposé comme source d'émission d'électrons un photo-injecteur. Un photo-injecteur comporte une photocathode et une source de lumière. La source de lumière est une source laser impulsionnelle de forte puissance émettant des rayonnements dans l'ultra violet. Par exemple,

la source laser est un laser à excimère propre à émettre des impulsions inférieures à 100 picosecondes (ps).

[0012] La source laser est propre à extraire des électrons d'une surface de la cathode par effet photoélectrique. La source laser permet un contrôle fin des instants d'extraction des électrons. En choisissant les instants d'extraction pour que les électrons aient une phase comprise dans une plage de phase privilégiée, il est obtenu un faisceau d'électrons de bonne qualité.

[0013] Néanmoins, le flux moyen du faisceau d'électrons avec un canon à électrons muni d'un photo-injecteur est bien inférieur au flux du faisceau d'électrons obtenu avec un canon à électrons muni d'une cathode à émission thermoïonique.

[0014] En outre, la mise en oeuvre de la cathode d'un photo-injecteur est effectuée dans un environnement contrôlé, ce qui complique la maintenance de la cathode.

[0015] De plus, l'emploi d'un photo-injecteur présente l'inconvénient d'être onéreux du fait de la source lumineuse.

[0016] Il existe donc un besoin pour un canon à électrons présentant une émittance améliorée par rapport à l'état de la technique tout en garantissant un flux moyen de faisceau électronique important.

[0017] A cet effet, il est proposé un procédé de contrôle d'un profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons en sortie d'une cavité radiofréquence conformée pour être en résonance avec une onde radiofréquence à une première fréquence et une onde radiofréquence à une deuxième fréquence. La deuxième fréquence est un multiple de la première fréquence. Le procédé comprend une étape d'émission d'une première onde radiofréquence à la première fréquence, la première onde ayant une première intensité. Le procédé comporte également une étape de détermination de la deuxième intensité d'une deuxième onde radiofréquence à la deuxième fréquence pour que le faisceau d'électrons obtenu en sortie d'une cavité radiofréquence ait un profil temporel de vitesses désiré lorsque la cavité radiofréquence est alimentée par la première onde radiofréquence et la deuxième onde radiofréquence. Le procédé comporte aussi une étape d'émission de la deuxième onde radiofréquence à la deuxième intensité déterminée.

[0018] Suivant des modes de réalisation particuliers, le procédé comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- à l'étape de détermination, il est également déterminé la deuxième phase à imposer à la deuxième onde radiofréquence.
- la cavité radiofréquence est alimentée par un faisceau d'électrons entre un instant d'ouverture et un instant de fermeture.
- à l'étape de détermination, il est également déterminé l'instant d'ouverture.
- à l'étape de détermination, il est également déterminé l'instant de fermeture.

- la deuxième fréquence est égale à trois fois la première fréquence.

[0019] L'invention concerne aussi un système de contrôle du profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électron pour canon à électrons radiofréquence comportant une première source d'ondes radiofréquences propre à émettre une première onde radiofréquence à une première fréquence. Le système comprend aussi une deuxième source d'ondes radiofréquences propre à émettre une deuxième onde radiofréquence à une deuxième fréquence. La deuxième fréquence est multiple de la première fréquence. La deuxième source d'ondes radiofréquences comporte une unité de contrôle de l'intensité de la deuxième onde radiofréquence. Le système comprend une cavité radiofréquence conformée pour être en résonance avec les première et deuxième ondes radiofréquences. Le système est adapté pour la mise en oeuvre du procédé tel que précédemment décrit.

[0020] Suivant un mode de réalisation particulier, la deuxième source d'ondes radiofréquences comprend, en outre, une unité de contrôle de la phase de la deuxième onde radiofréquence.

[0021] L'invention concerne également un canon à électrons radiofréquence comprenant une source d'émission d'électrons et un système de contrôle du profil temporel de vitesses du faisceau d'électrons issus de la première source, le système de contrôle étant tel que précédemment décrit.

[0022] Suivant des modes de réalisation particuliers, le canon à électrons radiofréquence comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le canon comporte, en outre, un espace de glissement, l'espace étant placé en sortie du système de contrôle.
- le canon comporte, en outre, un espace de post-accelération, l'espace étant placé en sortie du système de contrôle.

[0023] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple uniquement et en référence à la figure qui est une vue schématique d'un canon à électrons radiofréquence selon l'invention.

[0024] Le canon 10 à électrons radiofréquence illustré sur la figure est propre à émettre des électrons groupés en impulsions courtes.

[0025] Le canon 10 à électrons comprend une source 12 d'émission d'électrons propre à émettre un faisceau d'électrons. Le canon 10 comprend également un système de contrôle 14 du profil temporel de vitesses du faisceau d'électrons émis par la source 12 et un espace de glissement 16 placé en sortie du système de contrôle 14.

[0026] Il est entendu par l'expression « profil temporel de vitesses », la répartition des vitesses des électrons en fonction du temps ou de la phase.

[0027] Le système 14 de contrôle du profil de vitesses d'un faisceau d'électron comprend un découpeur 40 du faisceau émis par la source 12, placé en amont de la source 12.

[0028] Le découpeur 40 est propre à interrompre le faisceau d'électrons entre un instant de fermeture et un instant d'ouverture.

[0029] Selon l'exemple présenté, le découpeur 40 est réglable, ce qui signifie que les instants de fermeture et d'ouverture sont réglables. Le découpeur 40 permet de découper le faisceau d'électrons par tranche d'une ou plusieurs centaines de picosecondes.

[0030] Le système 14 de contrôle du profil de vitesses d'un faisceau d'électron comprend également une première source 50 d'ondes radiofréquences, une deuxième source 52 d'ondes radiofréquences et une cavité 54 radiofréquence.

[0031] La première source 50 d'ondes radiofréquences est propre à émettre une onde radiofréquence à une première fréquence notée F1.

[0032] Une onde radiofréquence est une onde ayant une fréquence supérieure à quelques dizaines de Hertz (kHz) et inférieure à 100 gigahertz (GHz) [La deuxième source 52 d'ondes radiofréquences est propre à émettre une onde radiofréquence à une deuxième fréquence F2.

[0033] La deuxième fréquence F2 est un multiple de la première fréquence F1. Mathématiquement, cette relation s'écrit $F2 = k \times F1$, où :

- x est le signe de la multiplication,
- k est un nombre entier strictement supérieur à 1.

[0034] La deuxième source 52 d'ondes radiofréquences comprend une unité 56 de contrôle de l'intensité de l'onde radiofréquence issue de la deuxième source 52 d'ondes radiofréquence et une unité 58 de contrôle de la phase de l'onde radiofréquence que la deuxième source 52 d'ondes radiofréquences est propre à émettre.

[0035] La cavité 54 radiofréquence comprend deux entrées d'excitation 60 et 62. La cavité 54 comporte également une entrée d'injection 64 et une sortie 66 pour les électrons.

[0036] La première entrée d'excitation 60 est reliée à la première source 50 d'ondes radiofréquences. La deuxième entrée d'excitation 62 est reliée à la deuxième source 52 d'ondes radiofréquences.

[0037] L'entrée d'injection 64 est reliée à la sortie de la source d'émission d'électrons 12. En sortie, la cavité 54 est reliée via sa sortie 66 à l'espace de groupement 16.

[0038] La cavité 54 radiofréquence est conformée pour que la cavité 54 résonne en présence d'une onde radiofréquence à la première fréquence F1. En outre, la cavité 54 radiofréquence est également conformée pour que la cavité 54 résonne en présence d'une onde à la deuxième fréquence F2. Les deux fréquences (première

fréquence F1 et deuxième fréquence F2) sont ainsi des fréquences de résonances de la cavité 54 radiofréquences.

[0039] L'espace de glissement 16 selon l'exemple de la figure, est un espace qui permet la compression du faisceau d'électrons. L'espace de groupement 16 est un espace dans lequel le potentiel de tension est nul.

[0040] En variante, l'espace de groupement 16 est remplacé par un espace de post-accélération. Un espace de post-accélération est un espace dans lequel le potentiel de tension est non nul.

[0041] Le fonctionnement du canon 10 est maintenant décrit.

[0042] La source 12 émet un faisceau d'électrons vers le système de contrôle 14.

[0043] Le système de contrôle 14 est alors adapté à mettre en oeuvre un procédé de contrôle du profil temporel de vitesses à partir du faisceau d'électrons généré par la source 12.

[0044] Le procédé comporte une étape de fourniture d'une première onde radiofréquence notée RF1 à la première fréquence F1. La première onde RF1 a une première intensité notée I1 et une première phase notée φ_1 .

[0045] La première onde RF1 est fournie par la première source 50 d'ondes radiofréquences.

[0046] Le procédé comporte une étape de détermination de différentes caractéristiques à imposer à certains éléments du système de contrôle 14 pour qu'en sortie de la cavité 54 radiofréquence, le faisceau d'électrons obtenu ait un profil de vitesses désiré.

[0047] Par exemple, à l'étape de détermination, il est déterminé la deuxième intensité I2 d'une deuxième onde radiofréquence RF2 à la deuxième fréquence F2.

[0048] En option, il est également déterminé la deuxième phase φ_2 de la deuxième onde radiofréquence RF2 à la deuxième fréquence F2.

[0049] Pour mettre en oeuvre l'étape de détermination, selon un mode de réalisation, le profil de vitesses désiré en sortie de la cavité 54 radiofréquence est décomposé en deux composantes. La première composante est liée à l'interaction entre le faisceau d'électrons et la première onde radiofréquence. La deuxième composante est liée à l'interaction entre le faisceau d'électrons et la deuxième onde radiofréquence. La deuxième composante permet de déduire les caractéristiques mentionnées précédemment comme la deuxième intensité I2 ou la deuxième phase φ_2 .

[0050] Par exemple, si le profil de vitesses souhaité est parabolique croissant, il est déterminé que l'intensité I2 de la deuxième onde radiofréquence est égale à 0,22 fois l'intensité I1 de la première onde et que le déphasage $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ entre la deuxième onde radiofréquence RF2 et la première onde radiofréquence RF1 est égal à 120°.

[0051] Le procédé comporte une étape d'émission la deuxième onde radiofréquence RF2 déterminée. L'étape d'émission est mise en oeuvre en contrôlant l'unité de contrôle 56 de l'intensité et l'unité de contrôle 58 de la phase de la deuxième source 52 d'ondes radiofréquences.

ces.

[0052] Cette deuxième onde radiofréquence RF2 est injectée dans la cavité 54 via la deuxième entrée d'excitation 62.

[0053] Le faisceau d'électrons obtenu présente alors le profil temporel de vitesses désiré en sortie 66. Ce profil de vitesse prend en compte les décalages temporel et de vitesse entre les électrons pour que les électrons les plus lents, mais partis en avance de phase, rattrapent les électrons plus rapides partis plus tard. Ce mécanisme de compression est effectué dans l'espace de glissement 16 dont la longueur est ajustée pour que le regroupement soit optimal en sa sortie.

[0054] Ce faisceau d'électrons se regroupe dans l'espace de glissement 16.

[0055] Le procédé proposé permet donc de contrôler le profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons émis par la source 12 et de regrouper en sortie de l'espace de glissement 16 les électrons.

[0056] Cela permet en particulier d'obtenir un faisceau électronique présentant une meilleure émittance parce que le profil de vitesses est contrôlable et permet de produire un champ accélérateur dès la sortie du canon 10 pour conduire les électrons à des vitesses relativistes à partir desquelles la dégradation d'émittance devient négligeable.

[0057] En outre, le procédé s'applique indépendamment de la source 12 d'électrons considérée, ce qui permet d'envisager de l'ajouter sur tout type de source.

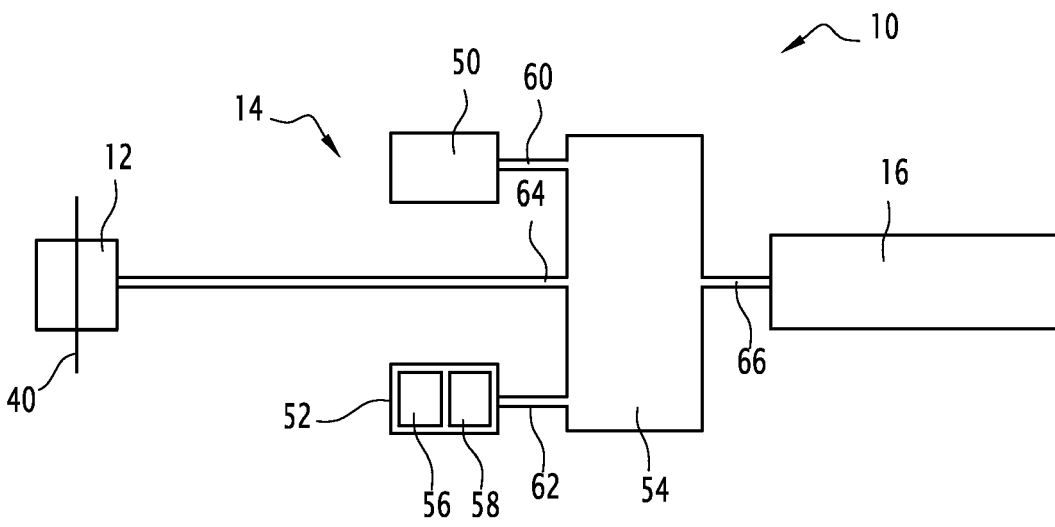
[0058] Le canon 10 à électrons présente une émittance améliorée par rapport à l'état de la technique tout en garantissant un flux moyen de faisceau électronique important.

Revendications

1. Procédé de contrôle d'un profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons en sortie d'une cavité (54) radiofréquence conformée pour être en résonance avec une onde radiofréquence à une première fréquence (F1) et une onde radiofréquence à une deuxième fréquence (F2), la deuxième fréquence (F2) étant un multiple de la première fréquence (F1), le procédé étant **caractérisé en ce que** le procédé comprend une étape de :

- émission d'une première onde radiofréquence (RF1) à la première fréquence (F1), la première onde ayant une première intensité (I1),
- détermination de la deuxième intensité (I2) d'une deuxième onde radiofréquence (RF2) à la deuxième fréquence (F2) pour que le faisceau d'électrons obtenu en sortie d'une cavité (54) radiofréquence ait un profil temporel de vitesses désiré lorsque la cavité (54) radiofréquence est alimentée par la première onde radiofréquence (RF1) et la deuxième onde radiofréquence

- (RF2), et
- émission de la deuxième onde radiofréquence (RF2) à la deuxième intensité (I2) déterminée.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel à l'étape de détermination, il est également déterminé la deuxième phase à imposer à la deuxième onde radiofréquence (RF2). 5
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la cavité (54) radiofréquence est alimentée par un faisceau d'électrons entre un instant d'ouverture et un instant de fermeture, et dans lequel à l'étape de détermination, il est également déterminé l'instant d'ouverture. 10 15
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la cavité (54) radiofréquence est alimentée par un faisceau d'électrons entre un instant d'ouverture et un instant de fermeture, et dans lequel à l'étape de détermination, il est également déterminé l'instant de fermeture. 20
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la deuxième fréquence (F2) est égale à trois fois la première fréquence (F1). 25
6. Système de contrôle (14) du profil temporel de vitesses d'un faisceau d'électrons pour canon (10) à électrons radiofréquence comportant : 30
- une première source (50) d'ondes radiofréquences propre à émettre une première onde radiofréquence (RF1) à une première fréquence (F1), 35
 - une deuxième source (52) d'ondes radiofréquences propre à émettre une deuxième onde radiofréquence (RF2) à une deuxième fréquence (F2), la deuxième fréquence (F2) étant multiple de la première fréquence (F1), la deuxième source (52) d'ondes radiofréquences comportant une unité de contrôle (56) de l'intensité de la deuxième onde radiofréquence (RF2) 40
 - une cavité radiofréquence (54) conformée pour être en résonance avec les première et deuxième ondes radiofréquences (RF1, RF2), 45
- le système (14) étant adapté pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5. 50
7. Système selon la revendication 6, dans lequel la deuxième source (52) d'ondes radiofréquences comprend, en outre, une unité de contrôle de la phase (58) de la deuxième onde radiofréquence (RF2). 55
8. Canon (10) à électrons radiofréquence comprenant :
- une source (12) d'émission d'électrons,
 - un système (14) de contrôle du profil temporel de vitesses du faisceau d'électrons issus de la première source (12), le système de contrôle (14) étant selon la revendication 6 ou 7.
9. Canon selon la revendication 8, dans lequel le canon (10) comporte, en outre, un espace de glissement (16) ou un espace de post-accélération, l'espace étant placé en sortie du système de contrôle (14).





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 13 19 5363

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	GB 2 266 006 A (THOMSON CSF [FR]) 13 octobre 1993 (1993-10-13) * page 6, ligne 14 - page 7, ligne 4; figure 4 *	1-9	INV. H05H9/00 H01J23/06
X	US 3 454 818 A (SOFFER JACQUES ET AL) 8 juillet 1969 (1969-07-08) * colonne 4, ligne 15 - ligne 35; figure 4 *	1,6	
X	US 5 113 141 A (SWENSON DONALD A [US]) 12 mai 1992 (1992-05-12) * colonne 14; figure 10 *	1,6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H05H H01J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		27 mars 2014	Flierl, Patrik
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intermédiaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 13 19 5363

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

27-03-2014

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
GB 2266006	A	13-10-1993	CA	2044633 A1		16-12-1991
			DE	4119517 A1		25-11-1993
			FR	2694447 A1		04-02-1994
			GB	2266006 A		13-10-1993
			IT	1249888 B		30-03-1995
			NL	9101036 A		01-09-1993
			US	5506473 A		09-04-1996

US 3454818	A	08-07-1969	BE	685128 A		16-01-1967
			CH	462242 A		15-09-1968
			DE	1273708 B		25-07-1968
			FR	1455407 A		01-04-1966
			GB	1143200 A		19-02-1969
			NL	6612398 A		06-03-1967
			US	3454818 A		08-07-1969

US 5113141	A	12-05-1992	AUCUN			

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82