

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication :

2 925 959

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national :

07 60434

51) Int Cl⁸ : G 01 N 25/20 (2006.01), G 01 K 17/00

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 28.12.07.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 03.07.09 Bulletin 09/27.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

72) Inventeur(s) : YALA PHILIPPE et LETERME DOMINIQUE.

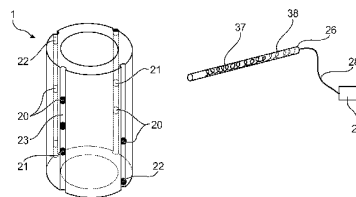
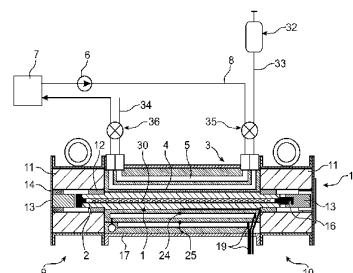
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BREVALEX.

54) PROCÉDE DE MESURE DE PUISSANCE D'UN CORPS ÉMETTEUR DE CHALEUR.

57) Un fluxmètre prévu pour des mesures de longue durée délivre la puissance rayonnée par un corps présent dans un creux (2) central au moyen d'une formule faisant intervenir la température et sa variation temporelle. La mesure de la température se fait principalement à la jonction entre le vase (1) absorbant le rayonnement et contenant le corps émetteur et une enveloppe isolante thermique (3) l'entourant et parcourue par un liquide de refroidissement maintenu à une température constante. Un étalonnage par simulation, par un dissipateur de chaleur à puissances connues, donne les coefficients de la formule.

Application notamment à la mesure de puissance résiduelle de crayons de combustible nucléaire.



FR 2 925 959 - A1



**PROCEDE DE MESURE DE PUISSANCE D'UN CORPS EMETTEUR DE
CHALEUR**

DESCRIPTION

L'invention a trait à un procédé de mesure
5 de puissance d'un corps émetteur de chaleur, qui peut
notamment convenir à la mesure de la puissance
résiduelle d'un crayon de combustible nucléaire.

Une application principalement envisagée
pour l'invention est le domaine nucléaire et en
10 particulier le retraitement et le stockage des
combustibles usés. Après l'arrêt de la réaction en
chaîne dans un réacteur nucléaire, le combustible
irradié continue à dégager de la puissance radioactive
appelée puissance résiduelle et qu'il faut estimer afin
15 de définir les conditions de stockage, de transport ou
de retraitement du combustible.

Le rayonnement résiduel peut être estimé
par spectroscopie ou par calorimétrie en mesurant
l'échauffement d'un écran frappé par le rayonnement et
20 qui l'absorbe. Les mesures peuvent être de durées très
variables, entre quelques minutes et quelques jours, ou
même quelques mois.

Les dispositifs et procédés connus
manifestent une certaine imprécision, de l'ordre d'au
25 moins 3% du résultat, et qu'on peut attribuer aux
pertes thermiques des calorimètres et à l'instabilité
de la référence de température pendant une longue
durée. L'objet de l'invention est d'améliorer la
précision de la mesure pour la rendre égale à environ

1% de la puissance résiduelle (dans des conditions de mesure comparables), pour des périodes de temps de mesure comprises par exemple entre 20 minutes et deux mois à partir de l'arrêt de l'irradiation et pour une évolution d'une puissance comprise entre 300 W et 3 W. Cela est obtenu par une meilleure maîtrise du bilan thermique.

Sous sa forme la plus générale, l'invention est relative à un procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur, comprenant les étapes suivantes :

-enfermer le corps émetteur dans une enceinte comprenant un vase absorbant le rayonnement, une enveloppe isolante thermique entourant le vase de façon adjacente, le corps étant placé dans un creux du vase, et des moyens de mesure de température placés à une jonction du vase et de l'enveloppe,

- mesurer la température des moyens de mesure,

- déduire la puissance de la température mesurée,

caractérisé en ce que la puissance est déduite par une formule comprenant un terme proportionnel à la température et un terme proportionnel à une variation temporelle de la température.

En corrélant la puissance émise par le combustible et dissipée en chaleur essentiellement dans le vase, puis retirée par le réfrigérant maintenu à une température constante, à l'échauffement du vase on obtient seulement une précision moyenne, représentative

de l'art connu ; mais l'addition du terme exprimant la variation temporelle de la température est de nature à apporter la meilleure précision qu'on souhaite dans le résultat estimé.

5 Les coefficients de ces deux termes d'estimation de la puissance peuvent être obtenus dans une étape préliminaire d'étalonnage où un corps d'étalonnage remplace le corps émetteur du rayonnement dans le creux du vase. Ce corps d'étalonnage est mis en
10 service de façon à émettre une puissance connue selon une succession comprenant des paliers à puissance fixe séparée par des variations commandées de puissance, et de préférence brusques : chacun des deux termes d'estimation de puissance prédomine alternativement, ce
15 qui permet de les estimer.

D'autres aspects de l'invention seront maintenant décrits au moyen des figures, parmi lesquelles :

- la figure 1 est une vue générale de
20 l'appareil de mesure,
- la figure 2 illustre le vase enclosant le corps émetteur,
- et la figure 3 illustre un dispositif d'étalonnage.

25 Le dispositif par lequel le procédé est mis en œuvre, représenté à la figure 1, est un fluxmètre dont un premier élément est un vase 1 conducteur de chaleur, en tungstène dans cette réalisation (mais le cuivre et l'aluminium pourraient convenir aussi), muni
30 d'un creux 2 dans lequel le corps émetteur du rayonnement (un crayon 30 de combustible nucléaire) est

placé. Il est avantageux pour améliorer la précision de la mesure que le creux 2 soit ajusté aux dimensions extérieures du corps émetteur avec un faible jeu. Dans le cas de mesures sur des crayons de combustible nucléaire qu'on développe ici, le vase 1 est un tube allongé clos aux extrémités.

La conductivité du vase 1 est suffisamment forte, par rapport à ses dimensions pour qu'on puisse supposer que la température y est uniforme. Cette caractéristique est obtenue en respectant un nombre de Biot inférieur à 0,1. Il faut toutefois aussi que la puissance émise par le crayon 30 s'y dissipe presque complètement, ce qui impose aussi une épaisseur minimale pour absorber le rayonnement gamma, le plus pénétrant.

Le vase 1 est entouré par une enveloppe isolante 3 à la chaleur, en fibres de silice dans cette réalisation, également tubulaire, et séparée de lui par un jeu très faible ou nul. L'enveloppe isolante 3 comprend deux chambres 4 et 5 séparées, annulaires et concentriques de circulation d'eau de réfrigération. Les chambres 4 et 5 sont reliées à un circuit de réfrigération unitaire extérieur au fluxmètre et qui se divise seulement en arrivant aux chambres 4 et 5. Il comprend des dispositifs usuels pour maintenir les conditions d'écoulement et l'uniformité de température et, notamment, une pompe 6 et une source froide 7 sur une canalisation 8. Le liquide de refroidissement passe par l'une ou l'autre des chambres 4 et 5 d'après la puissance émise et le gradient de température à établir pour une évacuation suffisante de chaleur : la chambre

intérieure 4 est mise en service pour la réfrigération aux fortes puissances émises, la chambre extérieure 5 aux faibles puissances. Le circuit comprend alors une bouteille d'air ou d'azote comprimé 32 et des canalisations d'entrée et de sortie de gaz 33 et 34 dans les chambres 4 et 5 et hors d'elles. Des vannes 35 et 36 sont conçues pour brancher l'une des chambres 4 et 5 au choix à la canalisation 8 d'eau du circuit, l'autre aux canalisations d'entrée et de sortie de gaz 33 et 34, et pour procéder aux commutations. L'utilisation des deux chambres 4 et 5 détermine ainsi deux plages de mesure différentes, améliorant là encore la précision de l'ensemble.

Le fluxmètre comprend encore deux bouchons 9 et 10 d'extrémité dont chacun comprend un tube 11 épais en verre cellulaire s'appuyant sur l'enveloppe isolante 3 et séparé du vase 1 par un tube de centrage 12. L'enveloppe isolante 3 est plus courte que le vase 1, de sorte que les extrémités du crayon ne sont pas placées devant elle, mais cela n'introduit pas d'irrégularité puisque le combustible n'est pas présent à ces extrémités. Les bouchons 9 et 10 comprennent encore un bloc 13, aussi en verre cellulaire, venant en face des bouts du vase 1 et séparé du tube 11 par un autre tube de centrage 14. Le verre cellulaire est choisi pour ses propriétés d'isolation thermique qui réduisent les fuites et pour sa bonne résistance mécanique qui fait des bouchons 9 et 10 de bons supports du fluxmètre. Un des bouchons 10 est affecté au passage du crayon 30 de combustible dans le creux 2 du vase 1 : une partie de ce bouchon 10, comprenant

notamment le bloc 13, est amovible en retirant un couvercle 15. Une tpe 16 fermant l'extrémité en regard du vase 1 et unie au bloc 13 est alors retirée elle aussi, ce qui ouvre le creux 2.

5 L'ensemble du fluxmètre est entouré par une enceinte extérieure 17.

On passe à la figure 2. Les thermocouples par lesquels les températures sont mesurées, et qui sont reliés à une installation extérieure non
10 représentée, sont ici au nombre de seize et répartis dans le fluxmètre, mais un seul pourrait éventuellement suffire. Huit d'entre eux sont implantés à l'extérieur du vase 1 et plus précisément dans des rainures 23
15 axiales à sa périphérie : quatre (référencés par 20) à mi-longueur du vase 1 et à 90° l'un de l'autre, deux autres (référencés par 21) décalés de 10 millimètres dans deux des rainures 23 et diamétralement opposés, et les deux derniers (référencés par 22) à des extrémités respectives du vase 1, à 90° des précédents et dans les
20 autres rainures 23. Chacune des quatre rainures 23 contient donc deux thermocouples 20 et leurs deux fils 19.

Quatre autres thermocouples 24 sont insérés dans la surface externe de la chambre 4 située à
25 l'intérieur, dans le plan médian du dispositif et à 90° l'un de l'autre, devant les thermocouples 20. Les quatre derniers thermocouples 25 sont insérés à la surface interne de la chambre 5 située à l'extérieur, encore devant les thermocouples 20. L'enveloppe
30 isolante 3 est aussi munie de rainures axiales analogues aux rainures 23 pour le passage des fils de

ces thermocouples supplémentaires. Les thermocouples 20, 21 et 22 donnent la température du vase 1 et sont essentiels à la mesure, alors que les thermocouples 24 et 25 surveillent l'uniformité de température du liquide réfrigérant et n'interviennent pas dans la mesure, mais permettent de vérifier si le réfrigérant est une source froide efficace, en s'assurant que la face extérieure de l'enveloppe isolante 3 est bien à sa température.

10 Le dispositif comprend encore des sondes à résistance de platine non représentées, à l'entrée, à la sortie et à mi-longueur des chambres 4 et 5, à la surface externe de la chambre interne et à la surface interne de la chambre externe. Ces sondes servent à mesurer la température de l'eau afin d'appliquer un asservissement à la source froide 7.

Ce dispositif permet d'exprimer la puissance du crayon 30 de combustible nucléaire contenu dans le creux 2 par la formule $W(t) = A \frac{d\theta}{dt} + B \theta$, où W désigne la puissance rayonnée par le crayon 30, θ la température du vase 1 mesurée par les thermocouples 20, 21 et 22, et A et B sont des coefficients exprimant la capacité calorifique globale du dispositif et la fuite thermique du dispositif.

25 Les coefficients A et B sont déterminés par un étalonnage préliminaire, comprenant des paliers successifs à puissance constante alternant avec des variations de puissance, consistant avantageusement en un arrêt brusque impliquant un refroidissement. La chute de la température en fonction du temps est alors inversement exponentielle, de sorte que la pente du

30

signal à l'origine donne la valeur de A par la formule appliquée $W = 0 = A \frac{dA}{dt} + B\theta$, soit $A = - B\theta / \frac{d\theta}{dt}$. La valeur du coefficient B a été calculée au palier précédent par $W = 0 + B\theta$ soit $B = \frac{W}{\theta}$. Les coefficients A et B variant

5 normalement avec la température, ces étalonnages doivent être répétés à des températures dans toute la plage de mesure.

L'étalonnage s'effectue avec un crayon chauffant 26 représenté à la figure 3 et qui peut être
10 placé dans le creux à la place du crayon 30 de combustible, dont il a les mêmes dimensions. Il est relié à une source de chauffage variable 27 par un fil 28. L'échauffement y est produit par un bobinage comprenant une partie plus résistante 37 au centre, ce
15 qui correspond au lieu de présence du combustible dans le crayon 30, et une partie 38 plus conductrice en cuivre à l'extrémité menant au fil 28, où la dissipation de chaleur est beaucoup plus réduite : une répartition d'émission de chaleur analogue à celle du
20 crayon 30 est ainsi réalisée le long du crayon chauffant 26. Les conditions d'étalonnage sont proches de celles qui seront présentées par la suite. Les paliers de puissance peuvent être compris entre quelques centaines de watts et quelques watts, la
25 température de l'eau de réfrigération est maintenue constante à une valeur qui sera la même que pour les mesures ultérieures. La température environnante autour du fluxmètre sera aussi si possible maintenue constante.

REVENDEICATIONS

1) Procédé de mesure de puissance d'un corps (30) émetteur de chaleur, comprenant les étapes
5 suivantes :

-enfermer le corps émetteur dans une enceinte comprenant un vase (1) absorbant la chaleur, une enveloppe isolante thermique (3) entourant le vase de façon adjacente, le corps (30) étant placé dans un
10 creux (2) du vase, et des moyens de mesure de température (20, 21, 22) placés à une jonction du vase (1) et de l'enveloppe (3),

- mesurer la température des moyens de mesure,

15 - déduire la puissance de la température mesurée,

caractérisé en ce que la puissance est déduite par une formule comprenant un terme proportionnel à la température et un terme
20 proportionnel à une variation temporelle de la température.

2) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon la revendication 1,
25 caractérisé en ce qu'il comprend une étape préliminaire d'étalonnage où un corps d'étalonnage (26) est placé dans le creux du vase à la place du corps émetteur de chaleur, le corps d'étalonnage est mis en service de façon à émettre une puissance connue et variable selon
30 une succession comprenant des paliers à puissance fixe séparés par des variations de puissance, des

coefficients de pondération du terme proportionnel à la température et du terme proportionnel à la variation temporelle de la température étant obtenus.

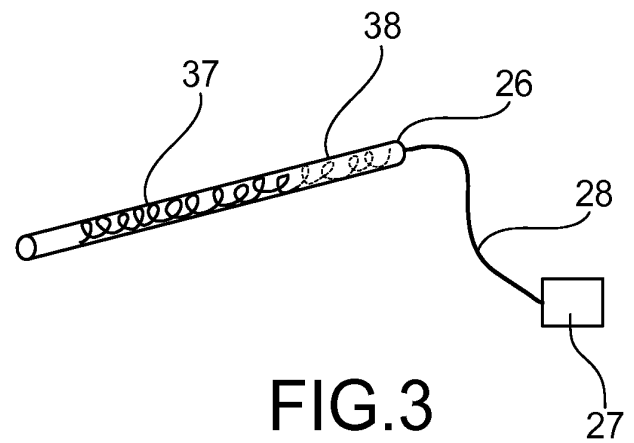
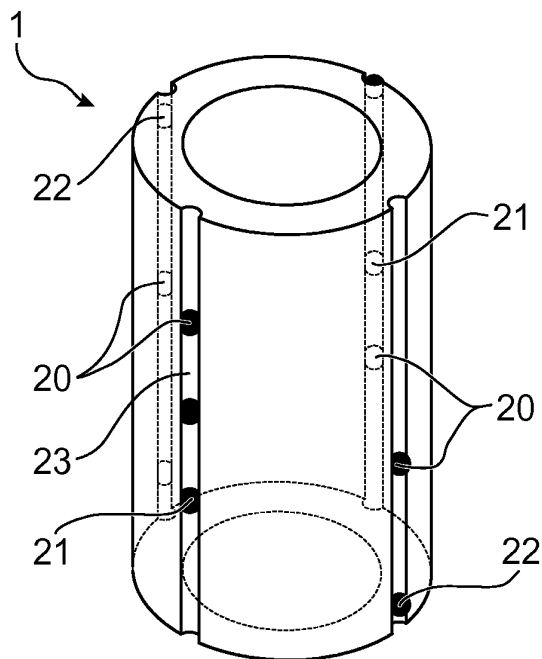
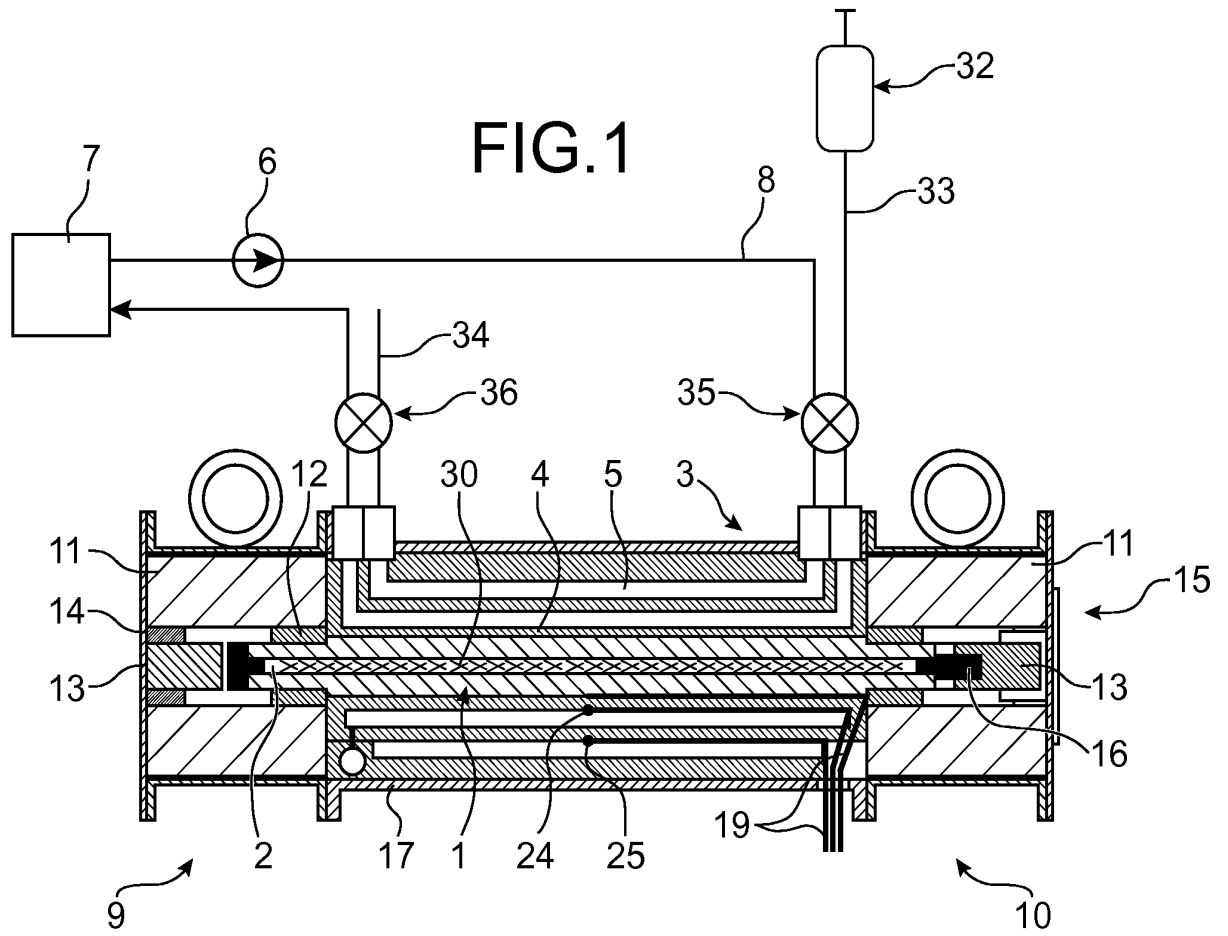
- 5 3) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le vase (1) possède un nombre de Biot inférieur à 0,1.
- 10 4) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le vase est en tungstène.
- 15 5) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le vase est en cuivre.
- 20 6) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le vase est en aluminium.
- 25 7) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'enveloppe (13) est maintenue à température constante par un circuit de circulation de liquide (4, 5, 8) la
- 30 parcourant.

8) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon la revendication 7, caractérisé en ce que le circuit comprend deux chambres (4, 5) séparées et concentriques parcourant l'enveloppe, et le procédé comprend un choix d'une des chambres pour faire passer le liquide.

9) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le corps est un crayon de combustible nucléaire, et le vase et l'enveloppe sont tubulaires.

10) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le corps d'étalonnage comprend un élément chauffant.

11) Procédé de mesure de puissance d'un corps émetteur de chaleur selon les revendications 9 et 10, caractérisé en ce que le corps d'étalonnage est un tube (26) contenant un bobinage qui est l'élément chauffant et qui comprend une partie moins conductrice (37) de l'électricité au centre du tube (26) et une partie plus conductrice (38) à une extrémité, reliant à une source d'électricité (27) extérieure.





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 702118
FR 0760434

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, des parties pertinentes		
L	<p>STÉPHANE BOURGANEL: "Conception d'une expérience de mesure de la puissance résiduelle d'un combustible irradié: l'expérience MERCI" RAPPORT CEA-R-6033, [Online] XP002490997 Saclay ISSN: 0429-3460 Extrait de l'Internet: URL:http://www-ist.cea.fr/publiccea/exl-doc/00000037682_2.pdf> [extrait le 2008-08-04] * La présente page, publiée sur internet par le Commissariat à l'Énergie Atomique, prouve que la thèse de S. Bourganel citée ci-dessus, a été publiée en Juillet 2003. * * le document en entier *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>		<p>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</p>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 août 2008		Barthélemy, Matthieu	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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 intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	

4
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0760434 FA 702118

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 05-08-2008

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 au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2516237 A	13-05-1983	DE 3144984 A1	19-05-1983
