

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 570 499**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **84 14152**

⑤1 Int Cl⁴ : G 01 N 24/08.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** A1

②2 Date de dépôt : 14 septembre 1984.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 12 du 21 mars 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CGR (Société
anonyme). — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Eric André Breton.

⑦3 Titulaire(s) :

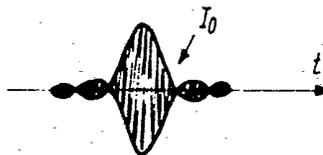
⑦4 Mandataire(s) : Philippe Guilguet, Thomson-CSF, SCPI.

⑤4 Installation d'imagerie par résonance magnétique nucléaire.

⑤7 Elaboration du signal d'excitation radiofréquence en ima-
gerie RMN.

Selon l'invention, on donne à l'impulsion radiofréquence une
enveloppe I_0 déduite de la forme de sélection de coupe qui
résulterait de l'application d'une impulsion radiofréquence d'en-
veloppe représentative de la forme de sélection de coupe
désirée.

L'invention procure une sélection de coupe bien localisée
dans l'espace.



FR 2 570 499 - A1

D

INSTALLATION D'IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

L'invention se rapporte à une installation d'imagerie par résonance magnétique nucléaire et concerne plus particulièrement la conformation du signal radiofréquence d'excitation pour obtenir une sélection de coupe de caractéristiques voulues, notamment la
5 sélection d'une coupe (c'est-à-dire une tranche plane d'épaisseur choisie du corps à examiner) ayant, dans l'espace, des limites aussi précises et nettes que possible.

Une installation d'imagerie par résonance magnétique nucléaire classique comprend un aimant pour créer un champ
10 magnétique uniforme dans une région de l'espace où l'on place le corps à examiner, des moyens pour superposer à ce champ uniforme un gradient de champ orienté suivant une direction choisie de l'espace, les caractéristiques du gradient étant modifiées au cours des séquences successives d'acquisition des données et des moyens
15 d'émission radiofréquence pour créer dans ladite région de l'espace un champ tournant susceptible de faire "basculer" les spins de certains noyaux (le plus souvent des atomes d'hydrogène) du corps à examiner. Les conditions de résonance magnétique nucléaire pour lesquelles on peut observer le basculement des spins sont
20 déterminées par la valeur locale du champ magnétique et la fréquence de l'onde électromagnétique d'excitation. A titre d'exemple, pour l'hydrogène, les conditions de résonance sont réunies pour une émission radiofréquence à 6,4 MHz et un champ magnétique de 1500 Gauss ou pour une émission radiofréquence de
25 64 MHz et un champ magnétique de 15000 Gauss.

La superposition du champ magnétique constant et d'un gradient dans la région de l'espace précitée limite les conditions de résonance à un "plan" de faible épaisseur, c'est-à-dire une coupe choisie du corps à imager, de sorte que les spins des noyaux étudiés
30 de cette coupe soient les seuls à basculer et par là même les seuls à réémettre ensuite un signal radiofréquence mesurable. En

procédant à un grand nombre de séquences d'émission-réception, on rassemble un ensemble de données suffisant pour reconstituer l'image de la coupe. Pour que l'image soit de bonne qualité, on peut rechercher à obtenir une coupe dont les limites soient aussi nettes
 5 que possibles, c'est-à-dire à mettre en oeuvre des séquences d'émission-réception telles que les atomes situés au voisinage de la tranche du corps dont on cherche à reconstituer l'image, ne soient pas ou peu excités pour que leur contribution dans le signal radiofréquence réémis soit la plus faible possible. Or la "forme" de
 10 la sélection de coupe varie en fonction de l'enveloppe du signal radiofréquence provoquant le basculant des spins.

Jusqu'à présent, on a toujours supposé que la "forme" de la sélection de coupe, qui peut se définir comme étant la densité de spins excités le long d'un axe perpendiculaire au plan de la coupe,
 15 devait être la transformée de Fourier de la "forme" de l'impulsion d'excitation radiofréquence (c'est-à-dire l'enveloppe de ce signal). Ceci a dicté le choix d'une enveloppe de forme sinus-cardinal
 sinus-cardinal de $x = \text{sinc}(x) = \frac{\sin \pi x}{\pi x}$

20 représentant la transformée de Fourier inverse d'un créneau. Un créneau à flancs droits est en effet l'image d'une transition optimale entre le plan de coupe sélectionné et le reste de la région de l'espace où règne le champ magnétique. En fait, les résultats se sont montrés décevants et la forme de la sélection de coupe obtenue
 25 avec une impulsion radiofréquence de type sinus-cardinal n'est pas complètement satisfaisante.

L'invention découle de la constatation que la forme de la sélection de coupe n'est pas exactement la transformée de Fourier de la forme de l'impulsion radiofréquence et de l'hypothèse que la
 30 transformation f donnant la forme de la sélection de coupe à partir de la forme de l'impulsion radiofréquence est cependant involutive soit $f^{-1} = f$

Cette hypothèse s'étant révélée exacte par l'expérience, il est devenu possible de redéfinir une forme de sélection de coupe de la

façon suivante :

- identifier (par la mesure ou le calcul) la forme de la sélection de coupe résultant de l'application, au cours d'une séquence d'émission-réception, d'une impulsion radiofréquence d'excitation dont
5 l'enveloppe est représentative de la sélection de coupe désirée ;
- utiliser cette forme de sélection de coupe ou une forme déduite de celle-ci en tant qu'enveloppe du signal radiofréquence dans les séquences d'émission-réception permettant de réunir l'ensemble des informations nécessaires à la reconstruction de l'image d'au moins
10 un plan de coupe.

Pour certaines formes simples d'enveloppe d'impulsion radiofréquence, l'identification de la forme de sélection de coupe peut se faire par le calcul. Dans tous les cas, elle peut se faire par la mesure, selon une procédure qui sera indiquée plus loin.

- 15 Dans cet esprit, l'invention concerne donc une installation d'imagerie par résonance magnétique nucléaire, comprenant des moyens pour engendrer un champ magnétique sensiblement uniforme dans une région de l'espace, des moyens pour superposer à ce champ des gradients de champ de caractéristiques différentes choisies au
20 cours de séquences successives d'acquisition de données et des moyens d'émission radiofréquence pour émettre au moins une impulsion radiofréquence au cours de chaque séquence, caractérisée en ce qu'elle comporte des moyens de modulation pour donner à
25 ladite impulsion radiofréquence une enveloppe déduite de la forme de sélection de coupe qui résulterait de l'application d'une impulsion radiofréquence d'enveloppe représentative de la forme de sélection de coupe désirée.

Le plus souvent, dans la pratique, la forme de sélection de coupe désirée est un créneau puisqu'on cherche à faire basculer les
30 spins des noyaux d'hydrogène situés dans une mince "tranche" du corps à examiner tout en excitant le moins possible ceux qui se trouvent de part et d'autre de celle-ci. Par conséquent, l'enveloppe de l'impulsion radiofréquence représentative de la forme de sélection de coupe désirée, définie ci-dessus, est un créneau et pour

ce type d'impulsion relativement simple, il est possible de calculer la forme de sélection de coupe résultante. Cette méthode de calcul est explicitée dans un article de la revue américaine "Journal of Magnetic Resonance" volume N°33, publiée en 1979. Cette méthode

5 de calcul est explicitée pour deux types d'impulsion radiofréquence en créneau, l'une calibrée pour faire basculer les spins de 90° et l'autre pour les faire basculer de 180°. On sait en effet que dans les séquences d'acquisition des données mettant en oeuvre le phénomène

10 d'écho de spin, il est nécessaire, au cours d'une même séquence d'acquisition, d'appliquer successivement une impulsion d'excitation calibrée pour un basculement des spins de 90° puis une impulsion d'excitation calibrée pour un basculement des spins de 180°. On peut encore améliorer les résultats en déduisant l'enveloppe de l'impulsion radiofréquence de la forme de sélection de coupe

15 identifiée comme indiqué ci-dessus. Il s'est ainsi révélé avantageux de multiplier la forme d'enveloppe par une gaussienne et/ou de limiter la durée du signal radiofréquence dans le temps, c'est-à-dire de tronquer ladite enveloppe de part et d'autre de son amplitude maximum.

20 Ainsi des résultats particulièrement satisfaisants ont été obtenus en utilisant une enveloppe $F(t)$ pour l'impulsion radiofréquence de la forme :

1°) pour faire basculer les spins de 90° dans la coupe sélectionnée

$$F(t) = A_1 \operatorname{Sinc} (B_1 \sqrt{C_1 + X^2}) \exp(-D_1 X^2)$$

25 X est une variable réduite telle que

$$X = t - \frac{T_{90}}{2}$$

t étant le temps avec

$$t \in [0, T_{90}]$$

30 l'enveloppe est donc tronquée en dehors de cet intervalle de temps T_{90} représente un intervalle de temps tel que

$$\omega_1 T_{90} = \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

ω_1 étant la vitesse de rotation des spins sous l'effet de la

composante utile du champ tournant engendré par l'impulsion radiofréquence. A_1 , B_1 , C_1 et D_1 sont des paramètres de la fonction.

2°) Pour faire basculer les spins de 180° dans la coupe sélectionnée

$$5 \quad F(t) = -A_2 \frac{\cos B_2 \sqrt{C_2 + X^2}}{B_2^2 (C_2 + X^2)} \exp(-D_2 X^2)$$

$$\text{avec } X = t - \frac{T_{180}}{2}$$

$$\text{et } t \in [0, T_{180}]$$

10 A_2 , B_2 , C_2 et D_2 sont des paramètres de la fonction et T_{180} est un intervalle de temps tel que

$$\omega_1 T_{180} = \pi \quad (2)$$

En fait, dans la pratique, T_{90} et T_{180} sont des valeurs choisies et on ajuste les paramètres A_1 , A_2 (liés à ω_1 par une relation de proportionnalité) pour que les relations (1) et (2) soient satisfaites, respectivement.

Pour un mode de réalisation donné, on a choisi les paramètres suivants :

$$20 \quad \begin{array}{ll} B_1 = 1,088 & B_2 = 8,579 \\ C_1 = 0,2320 & C_2 = 0,134 \\ D_1 = 0,578 & D_2 = 0,470 \\ T_{90} = 3,4 \text{ ms} & T_{180} = 2,7 \text{ ms} \end{array}$$

A_1 et A_2 sont des facteurs d'amplitude qui dépendent notamment du corps à examiner ; ils sont donc ajustés à chaque fois.

La figure 1 est un graphe qui résume la procédure de détermination de l'enveloppe du signal radiofréquence, telle que décrite ci-dessus.

La figure 2 est un schéma-bloc d'une partie de l'installation d'imagerie conforme à l'invention illustrant les moyens pour élaborer un signal radiofréquence d'enveloppe prédéterminée.

En se référant à la figure 1, I est la forme de l'enveloppe d'une impulsion radiofréquence d'excitation représentative de la forme de

la sélection de coupe voulue. I a donc la forme d'un créneau à l'intérieur duquel "s'inscrit" le signal radiofréquence. A défaut des méthodes de calcul mentionnées ci-dessus pour identifier la forme de la sélection de coupe résultant de l'utilisation du créneau I, on

5 pourra utiliser les moyens mêmes de l'installation d'imagerie par résonance magnétique nucléaire pour restituer un signal représentatif de la sélection de coupe obtenue avec l'impulsion I. Pour cela, il suffit de mettre en oeuvre une séquence de test au cours de laquelle l'impulsion I (figure 1a) est engendrée en présence

10 d'un gradient de sélection appliqué suivant un axe (Oz par exemple) pour sélectionner un plan de coupe perpendiculaire à cet axe. La séquence est poursuivie en inversant le gradient et en le maintenant pendant tout le temps de réception du signal émis en retour. Ce signal est échantillonné et appliqué à l'entrée d'un transformateur de

15 Fourier. La visualisation de cette transformée de Fourier représente la forme de la sélection de coupe $M(z)$ (voir figure 1b). Etant donné que la transformation est involutive $M(z)$ peut être utilisé pour déduire une forme d'enveloppe du signal radiofréquence dont la durée ne soit pas trop importante. Cette enveloppe I_0 est

20 représentée à la figure 1c. C'est une forme dérivée de celle de la figure 1b par multiplication par une gaussienne et troncature. L'utilisation de cette forme en tant qu'enveloppe du signal radiofréquence donne une forme de sélection de coupe $M_0(z)$ dont l'allure est celle de la figure 1d. La même procédure peut être

25 utilisée pour contrôler à posteriori la forme de la sélection de coupe en réponse à une impulsion radiofréquence d'enveloppe choisie.

En se référant à la figure 2, l'installation comporte une mémoire numérique M renfermant point par point la courbe de la figure 1c. Un échantillonnage de 200 points avec une résolution de 9

30 bits (+ le signe) en intensité donne des résultats satisfaisants. Cette mémoire est lue à chaque émission d'une impulsion radiofréquence. Les informations numériques représentatives de l'allure de l'enveloppe sont adressées à l'entrée d'un convertisseur Numérique-Analogique 11 dont la sortie est reliée à une entrée de modulation

d'un modulateur 12. Ce dernier reçoit le signal radiofréquence émis par un générateur 13 et la sortie S du modulateur est reliée aux antennes du système d'imagerie par résonance magnétique nucléaire via une chaîne d'amplification appropriée.

- 5 Bien que l'invention décrite ci-dessus fasse référence à une forme de sélection de coupe souhaitée la plus proche possible d'un créneau (ce qui correspond aux préoccupations actuelles des constructeurs) il est clair que l'invention vise aussi l'élaboration d'un signal radiofréquence aboutissant à une forme de sélection de coupe
- 10 différente, la méthodologie étant applicable dans tous les cas, notamment grâce à la procédure de test décrite ci-dessus, permettant d'identifier expérimentalement la forme de sélection de coupe obtenue pour n'importe quelle enveloppe de signal radiofréquence.

REVENDEICATIONS

1. Installation d'imagerie par résonance magnétique nucléaire, comprenant des moyens pour engendrer un champ magnétique sensiblement uniforme dans une région de l'espace, des moyens pour superposer à ce champ des gradients de champ de caractéristiques
 5 différentes choisies, au cours de séquences successives d'acquisition de données et des moyens d'émission radiofréquence pour émettre au moins une impulsion radiofréquence au cours de chaque séquence, caractérisée en ce qu'elle comporte des moyens de modulation (M,11,12) pour donner à ladite impulsion radiofréquence une
 10 enveloppe (figure 1c) déduite de la forme de sélection de coupe qui résulterait de l'application d'une impulsion radiofréquence d'enveloppe représentative de la forme de sélection de coupe désirée.

2. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que
 15 ladite enveloppe a été déduite de la forme de sélection de coupe qui résulterait de l'application d'une impulsion radiofréquence d'enveloppe représentative de la forme de sélection de coupe désirée en la multipliant par une gaussienne et/ou en la tronquant symétriquement de part et d'autre de son amplitude maximale.

20 3. Installation selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que ladite enveloppe d'un signal radiofréquence calibré pour faire basculer les spins de 90°, est de la forme :

$$F(t) = A_1 \operatorname{sinc} (B_1 \sqrt{C_1 + X^2}) \exp(-D_1 X^2)$$

avec $X = t - \frac{T90}{2}$ et $t \in [0, T90]$
 25

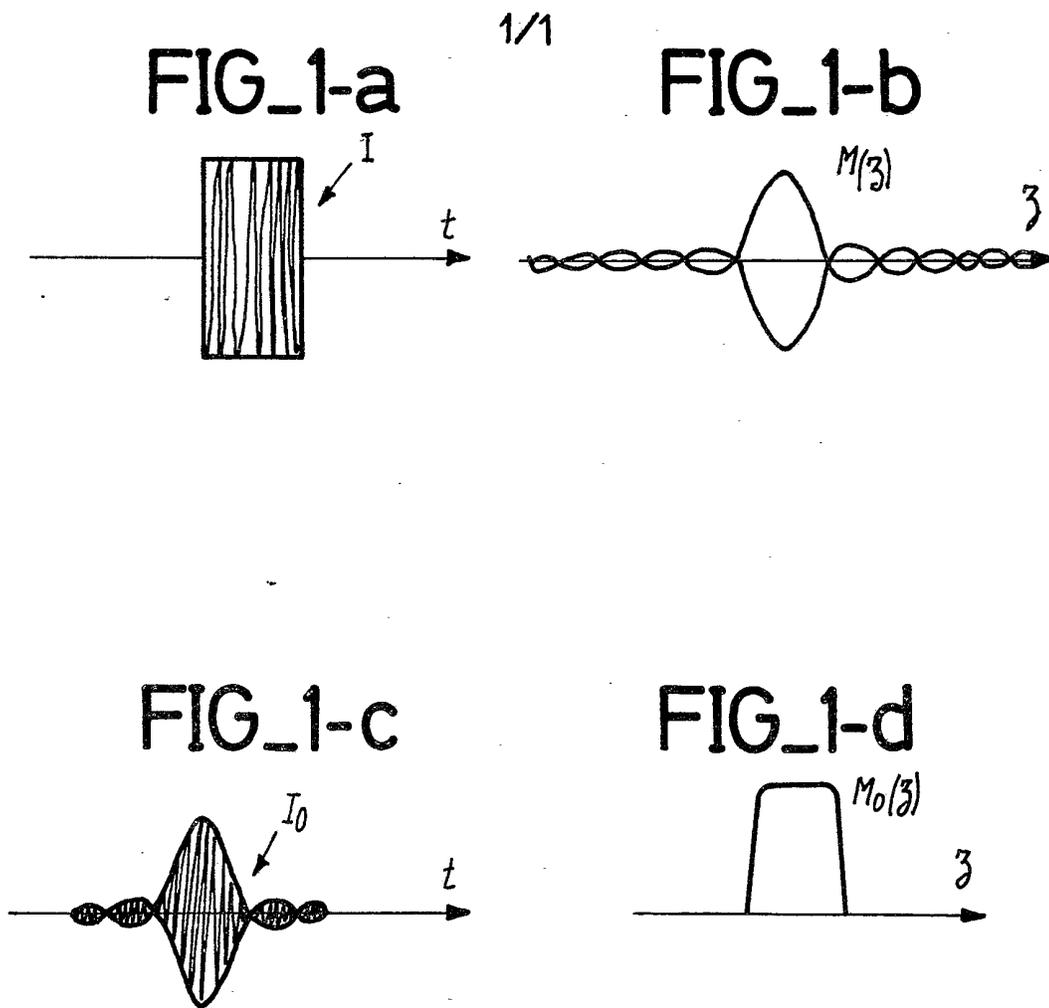
A_1, B_1, C_1, D_1 et $T90$ étant des paramètres prédéterminés.

4. Installation selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que ladite enveloppe d'un signal radiofréquence calibré pour faire basculer les spins de 180° est de la forme :

$$30 \quad F(t) = - A_2 \frac{\cos B_2 \sqrt{C_2 + X^2}}{B_2^2 (C_2 + X^2)} \exp(-D_2 X^2)$$

avec $X = t - \frac{T180}{2}$ et $t \in [0, T180]$

A_2, B_2, C_2, D_2 et $T180$ étant des paramètres prédéterminés.

**FIG_2**