

# Table des matières

<b>Préface à la première édition</b>	<b>VII</b>	Influence du temps d'écho .....	41
<b>Avant-propos</b>	<b>IX</b>	Pondération en T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> et densité protonique .....	42
<b>Abréviations</b>	<b>XI</b>	Séquence courte pondérée en T <sub>1</sub> (42). Séquence longue pondérée en T <sub>2</sub> (42). Pondération en densité de protons ou ρ (43).	
<b>Chapitre 1</b>		Notion de pondération : approche schématique ....	44
<b>Magnétisme nucléaire</b>	<b>1</b>	Contraste en T <sub>1</sub> (44). Contraste en T <sub>2</sub> (45). Contraste en ρ (46). Équation du signal RMN (47).	
Rappel : champ magnétique – électricité .....	1	Application au contraste du système nerveux central et en pathologie .....	48
Application au noyau atomique (1).		En séquence courte pondérée T <sub>1</sub> (48). En séquence longue pondérée T <sub>2</sub> et densité protonique (50).	
<b>Chapitre 2</b>		Séquence d'inversion récupération .....	54
<b>Le phénomène de résonance magnétique</b>	<b>5</b>	Principe (54). Modification du contraste : suppression de graisse et de liquide (56).	
Modèle classique.....	5	Produits de contraste .....	56
Vecteur d'aimantation macroscopique (état d'équilibre) : champ magnétique principal $\vec{B}_0$ (6). Perturbation de l'état d'équilibre : champ magnétique tournant ( $\vec{B}_1$ ) ou onde RF (7).		Agents paramagnétiques non spécifiques (59). Agents spécifiques hépatiques (62). Les agents de contraste ganglionnaires (64). Les produits de contraste utilisables par voie orale ou rectale (64). Agents de contraste vasculaires (65).	
Modèle quantique.....	11	<b>Chapitre 6</b>	
Effet d'un champ magnétique $\vec{B}_0$ : état d'équilibre (12). Effet d'une onde électromagnétique (onde RF ou champ magnétique $\vec{B}_1$ ) : transition du niveau E <sub>1</sub> à E <sub>2</sub> (13).		<b>Codage spatial du signal et mise en place des événements d'une séquence IRM</b>	<b>67</b>
<b>Chapitre 3</b>		Notion de matrice et champ de vue .....	67
<b>Les phénomènes de relaxation</b>	<b>19</b>	Localisation spatiale du signal.....	67
Notion d'aimantation longitudinale et transversale .....	20	Les gradients de champs magnétiques (68). Notion de transformée de Fourier (70).	
Relaxation longitudinale ou T <sub>1</sub> .....	20	Sélection du plan de coupe .....	72
Relaxation transversale ou T <sub>2</sub> .....	22	Notion de codage de phase et fréquence .....	74
Mesure du signal RMN : signal de précession libre ou FID .....	24	Application du codage de phase et fréquence en IRM .....	77
Notion de T <sub>2</sub> *.....	25	Pour en terminer avec le codage de la coupe .....	81
<b>Chapitre 4</b>		Durée d'une séquence .....	84
<b>La séquence de base : séquence d'écho de spin</b>	<b>29</b>	Technique multicoupes.....	84
<b>Chapitre 5</b>		Gradient bipolaire : notion d'écho de gradient .....	86
<b>Contraste en T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> et densité protonique</b>	<b>37</b>	Imagerie 3D .....	90
Influence du temps de répétition .....	38		

**Chapitre 7**

**Plan de Fourier et reconstruction de l'image 93**

Transformée de Fourier et plan de Fourier ..... 93

Acquisition de l'image en IRM et plan de Fourier ..... 97

Propriétés du plan de Fourier ..... 105

Principes de navigation dans le plan de Fourier ..... 109

Plan de Fourier et imagerie rapide et ultrarapide..... 112

Plan de Fourier et ARM avec injection de gadolinium ..... 112

**Chapitre 8**

**Facteurs de qualité de l'image en IRM 115**

Critères de qualité de l'image..... 115

    Le rapport signal sur bruit (115). Le contraste (116).

    La résolution spatiale (116). Les artefacts (117).

    Corollaire : le temps d'acquisition (117).

Les paramètres en exploration IRM..... 118

    Les paramètres non opérateur-dépendants (118).

    Les paramètres opérateur-dépendants (119).

**Chapitre 9**

**Imagerie rapide 135**

Origine des longs temps d'acquisition ..... 135

Méthodes d'imagerie rapide fondées sur la réduction du nombre de mesures ..... 137

    Réduction du nombre d'excitations (137). Réduction de la taille de la matrice (137). Réduction du champ de vue (137).

Méthodes d'imagerie rapide fondées sur le remplissage rapide du plan de Fourier..... 138

Imagerie en demi-plan de Fourier ..... 139

Imagerie rapide par écho de gradient : principes de base ..... 140

    Réduction de l'angle de bascule (140). Principe de l'écho de gradient (143). Séquences d'écho de gradient standard (144). Séquences d'écho de gradient « rapides » (EGR) (145). Séquences d'EGR avec destruction de l'aimantation transversale résiduelle (*Spoiled Gradient Echo*) (149). Séquences d'EGR avec état d'équilibre de l'aimantation transversale résiduelle par gradient « rephaseur seul » (*Steady State Coherent Gradient Echo*) (150). Séquence type état d'équilibre avec contraste renforcé en T<sub>2</sub> (*Contrast Enhanced Steady State Gradient Echo*) (152).

Contraste en imagerie d'écho de gradient ..... 154

    Séquences d'EGR avec destruction de l'aimantation transversale résiduelle (*Spoiled Gradient Echo*) (156).

    Séquences d'EGR avec gradient rephaseur « seul » (*Steady State Coherent Gradient Echo*) (157). Séquence

de type état d'équilibre avec contraste renforcé en T<sub>2</sub> (*Contrast Enhanced Steady State Gradient Echo*) (157).

Imagerie rapide par remplissage de plusieurs lignes ou balayage rapide du plan de Fourier ..... 158

    Séquences d'écho de spin rapide (PARE et dérivés) (158).

Techniques d'imagerie instantanée ..... 170

    Écho de gradient « ultrarapide » (170).

Imagerie rapide 3D ..... 173

Les techniques d'acquisitions parallèles ..... 175

    Acquisitions parallèles reconstruites dans le domaine image. Technique SENSE ou équivalent (176).

    Acquisitions parallèles reconstruites dans le domaine fréquentiel. Technique SMASH ou équivalent (179).

Perspectives d'avenir ..... 180

**Chapitre 10**

**Imagerie du flux 183**

Signal IRM du sang et des hématomes ..... 183

Rappel sur le flux sanguin..... 184

Les différents phénomènes de flux..... 185

    Phénomènes de temps de vol (185). Variation de la phase des spins circulants (188). Erreur de localisation des fluides en mouvement (189).

Angiographie par résonance magnétique ..... 190

    Méthodes de compensation de flux (190). Technique de présaturation (191). ARM par temps de vol (191).

    Angiographie par soustraction-angiographie par contraste de phase (194). ARM avec injection de produit de contraste (197). ARM sans produit de contraste (203). Présentation et traitement de l'image (204). Méthodes pour améliorer le contraste en ARM (205).

**Chapitre 11**

**Artéfacts en imagerie par résonance magnétique 209**

Artéfacts métalliques ..... 209

Artéfacts de mouvements..... 211

    Mécanismes des artéfacts de mouvements et solutions (211). Artéfacts liés aux phénomènes de flux (215).

Artéfacts de troncature ..... 218

Aliasing ..... 220

    Mécanisme (220). Solutions (223).

Artéfacts de déplacement chimique ..... 224

Artéfacts de susceptibilité magnétique..... 228

Phénomène d'excitation croisée ..... 229

Artéfacts liés à des techniques particulières ..... 230

    Artéfacts liés aux techniques d'imagerie ultrarapides (230). Artéfacts liés aux antennes en réseau

phase (231). Artéfacts liés aux techniques d'acquisition parallèle (232).	
Phénomène de l'angle magique .....	232
<b>Chapitre 12</b>	
<b>Techniques de suppression tissulaire et de modification du contraste</b> <b>237</b>	
Suppression de graisse .....	237
Séquence STIR (237). Technique de saturation sélective (242). Technique de séparation de la graisse et de l'eau (245). Méthode d'excitation de l'eau (247).	
Suppression de liquide .....	249
Transfert d'aimantation.....	249
Imagerie de susceptibilité magnétique .....	250

<b>Chapitre 13</b>	
<b>Instrumentation IRM et modalités pratiques des explorations</b> <b>255</b>	
Instrumentation IRM .....	255
L'aimant principal (255). Les antennes (257). Les autres organes de l'appareil (260). Contraintes sur l'environnement et sur l'opérateur (260).	
Accueil du patient .....	260
Installation et centrage .....	262
Positionnement et choix de l'antenne (263). Confort et contention (263). Centrage (263). Surveillance et précautions (263). Particularités des examens pédiatriques (264). Préparations particulières (264). Particularités de l'IRM interventionnelle (264).	
Paramétrage .....	265
Programmation des séquences (266). Options et artifices techniques (267).	
Particularités de l'IRM à haut champ.....	269
La sécurité en IRM.....	271
Risques liés à l'agent réfrigérant (273). Risques liés aux gradients de champs magnétiques (274). Risques liés aux antennes (274).	


<b>Chapitre 14</b>	
<b>Imagerie cardiaque</b> <b>279</b>	
Préambule : rappel sur le processus de construction de l'image .....	279
Principe de base : la synchronisation de l'acquisition sur l'ECG .....	279
Séquences d'imagerie cardiaque de base : écho de spin, écho de gradient .....	281
L'écho de spin de base et ses limites (282). L'écho de gradient : contraste vasculaire et séquences ciné (284).	
Imagerie de phase (cartographie des flux).....	287
Séquences segmentées permettant les acquisitions en apnée .....	289
Concept de séquence segmentée (289). Écho de spin segmenté et ses variantes « one shot » (289). Écho de	

gradient segmenté et ses variantes «one-shot» (291). Impulsions préparatoires (294).	
Évolution des techniques d'imagerie cardiaque .....	295
Écho de gradient optimisé (295). Imagerie 3D en double synchronisation cardiaque et respiratoire avec le navigateur (298). Inversion-récupération pour l'imagerie de rehaussement tardif et PSIR (299). Viabilité myocardique à 3 Tesla (300). Imagerie temps réel (302). Imagerie radiale ( <i>self-gated MRI</i> ) (302). Imagerie T2* pour la mesure de la charge en fer du myocarde (303). Séquences en cours de développement (303).	

<b>Chapitre 15</b>	
<b>Imagerie de diffusion, de perfusion et IRM fonctionnelle</b> <b>307</b>	
Imagerie de diffusion .....	307
Principe (307). Applications de l'imagerie de diffusion (311). Évolution du principe : imagerie de tenseur de diffusion (315).	
Imagerie de perfusion .....	317
Imagerie de perfusion avec traceurs exogènes (317). Imagerie de perfusion avec traceurs endogènes (ou traceurs diffusibles) (320).	
IRM fonctionnelle .....	321
Principe (321). Déroulement d'un examen d'IRMf (323). Applications de l'IRMf (324).	

<b>Chapitre 16</b>	
<b>La spectrométrie par résonance magnétique</b> <b>327</b>	
Principe de la SRM .....	328
Les techniques de SRM.....	329
Spectrométrie localisée (ou spectrométrie monovoxel ou SVS – <i>Single Voxel Spectrometry</i> ) (329). Imagerie spectroscopique (ou technique de localisation multivoxel ou CSI – <i>Chemical Shift Imaging</i> ) (334).	
Le traitement des données .....	336
Traitements du signal dans le domaine temporel (336). Traitement du signal dans le domaine fréquentiel (337). Analyse des spectres (337).	
Applications cliniques de la SRM .....	338

<b>Annexes</b> <b>345</b>	
Annexe 1 : Spin et magnétisme nucléaire.....	345
Annexe 2 : Quantité de protons en excès en position parallèle dans un volume .....	345
Annexe 3 : Champ magnétique tournant et onde RF .....	346
Annexe 4 : Calcul de la durée ou de l'intensité des impulsions RF de 90° et de 180° .....	346
Annexe 5 : Distribution de Boltzmann.....	347
Annexe 6 : Cohérence entre modèle quantique et classique.....	347
Annexe 7 : Repousse en T1 et décroissance en T2 de l'aimantation après une impulsion de 90° .....	348

Annexe 8 : Évolution dans le temps de l'aimantation longitudinale et transversale pendant la relaxation .....	348	Annexe 19 : Chronogrammes des séquences d'écho de spin et d'écho de gradient et remplissage du plan de Fourier .....	355
Annexe 9 : Influence des paramètres TR et TE sur le signal en SE .....	348	Annexe 20 : Résolution spatiale de l'image et FOV.....	355
Annexe 10 : Croisement des courbes de repousse de l'aimantation longitudinale .....	349	Annexe 21 : Matrices, champs de vue et pixels .....	356
Annexe 11 : Annulation du signal en IR .....	350	Annexe 22 : Influence de l'angle optimum de Ernst .....	357
Annexe 12 : Caractéristiques d'un gradient de champ magnétique.....	351	Annexe 23 : L'équation suivante donne le $T_1$ du sang après injection de gadolinium (à 1,5 Tesla)....	357
Annexe 13 : Gradient de sélection de coupe : exemple chiffré .....	351	Annexe 24 : Modifications de champs magnétiques induits par les gradients par rapport à $\vec{B}_0$ .....	357
Annexe 14 : Correspondance entre fréquences et phases .....	352	 Annexe 25 : Tableaux comparatifs des séquences et des options.....	357
Annexe 15 : Gradient de sélection de coupe bipolaire .....	352		
Annexe 16 : Définition mathématique de la transformée de Fourier.....	353	<b>Annexes</b> .....	<b>345</b>
Annexe 17 : Signal IRM et transformée de Fourier ..	353	<b>Glossaire</b> .....	<b>375</b>
Annexe 18 : Valeur du signal mesuré.....	355	<b>Ouvrages conseillés</b> .....	<b>385</b>
		<b>Index</b> .....	<b>387</b>