

Table des matières

Introduction	1
Hélène RATINEY et Olivier BEUF	
Chapitre 1. Principes, chaîne instrumentale et quantification en IRM	3
Hervé SAINT-JALMES, Hélène RATINEY et Olivier BEUF	
1.1. Introduction.	3
1.2. Aimantation macroscopique et champ magnétique statique B_0	5
1.2.1. L'aimantation nucléaire	5
1.2.2. L'aimant	5
1.2.3. Rôles et ordres de grandeur	5
1.2.4. Solutions techniques	6
1.2.5. Nouvelles technologies.	12
1.3. Description de l'évolution de l'aimantation	13
1.4. L'émission : perturber l'aimantation	14
1.4.1. Principe	14
1.4.2. Bobine d'émission	15
1.4.3. Réception du signal radiofréquence	15
1.5. Localisation spatiale en IRM	17
1.5.1. Principe	17
1.5.2. Gradients de champ magnétique	20
1.6. Notion de rapport signal sur bruit en IRM.	21
1.7. Signal et information utile	22
1.7.1. Un signal « complexe » au sens mathématique et (bio)physique.	22
1.7.2. Du qualitatif au quantitatif.	23

1.8. Conclusion	25
1.9. Remerciements.	26
1.10. Bibliographie	26

Chapitre 2. Antennes radiofréquences, principes théoriques et guide pratique 29

Aimé LABBÉ et Marie POIRIER-QUINOT

2.1. L'antenne comme circuit électrique résonant	31
2.1.1. Notions de base	31
2.1.2. Accorder et adapter l'antenne.	32
2.2. L'antenne comme source de champ magnétique radiofréquence	34
2.2.1. Polarisation et champs B_1^+ et B_1^-	37
2.3. Antenne d'émission	39
2.4. Antenne de réception	41
2.4.1. Facteur de sensibilité	41
2.4.2. Domaines de bruit.	43
2.5. Découplage	46
2.6. Antenne RF et sécurité	48
2.6.1. Débit d'absorption spécifique et température	48
2.6.2. Transmission et sécurité	49
2.7. Sujets avancés, défis des antennes	50
2.8. Conclusion	51
2.9. Bibliographie	52

Chapitre 3. Imagerie rapide et techniques d'accélération. 57

Nadège CORBIN, Sylvain MIRAUX, Valéry OZENNE, Émeline RIBOT
et Aurélien TROTIER

3.1. Introduction.	57
3.2. Définition de l'imagerie rapide	58
3.3. Séquences rapides d'accélération	58
3.3.1. Optimisation des séquences	58
3.3.2. <i>Turbo spin echo</i> et <i>Echo-Planar Imaging</i> (EPI)	59
3.3.3. Méthodes non cartésiennes	60
3.4. Méthodes d'accélération	64
3.4.1. Partial Fourier	65
3.4.2. Imagerie parallèle	67
3.4.3. Imagerie multicoupe simultanée	70
3.4.4. Reconstruction itérative	71
3.5. Applications	73
3.6. Bibliographie	77

Chapitre 4. Les bases de la diffusion et l'IRM <i>Intravoxel Incoherent Motion</i>	83
Giulio GAMBAROTA	
4.1. Introduction.	83
4.2. Histoire et propriétés physiques de la diffusion.	83
4.3. Diffusion et résonance magnétique nucléaire (RMN)	88
4.3.1. Premières mesures RMN de diffusion	88
4.3.2. Mesures de la diffusion par des impulsions de gradient : la méthode Stejskal et Tanner	89
4.4. Diffusion de l'eau dans les tissus biologiques	95
4.5. Imagerie par résonance magnétique de diffusion.	97
4.5.1. Séquences d'impulsions d'IRM de diffusion.	97
4.5.2. Applications de l'IRM pondérée en diffusion (DW-IRM)	98
4.6. IRM <i>Intravoxel Incoherent Motion</i> (IVIM)	103
4.7. Conclusion	105
4.8. Bibliographie	105
Chapitre 5. IRM fonctionnelle	109
Laura Adela HARSAN, Laetitia DEGIORGIS, Marion SOURTY, Éléna CHABRAN et Denis LE BIHAN	
5.1. L'imagerie fonctionnelle en contraste BOLD et connectivité cérébrale	109
5.1.1. Introduction	109
5.1.2. Principes d'IRM fonctionnelle en contraste BOLD	110
5.1.3. Paradigmes d'activation en IRMf	119
5.1.4. IRMf de repos et cartographie de la connectivité cérébrale fonctionnelle.	120
5.2. IRM de diffusion et fonction cérébrale.	127
5.2.1. Introduction	127
5.2.2. IVIM fMRI.	129
5.2.3. IRM fonctionnelle par diffusion (DfMRI)	129
5.2.4. Vers la tractographie fonctionnelle : un cadre de diffusion global au sein du connectome cérébral	134
5.3. Conclusion	136
5.4. Bibliographie	136
Chapitre 6. Imagerie vasculaire : flux et perfusion	147
Sylvain MIRAUX, Frank KOBER et Emmanuel Luc BARBIER	
6.1. Introduction.	147
6.2. Agents de contraste	148

6.2.1. Comportement biologique	148
6.2.2. Diamagnétisme, paramagnétisme, superparamagnétisme	149
6.2.3. Effet de relaxivité	149
6.2.4. Effet de susceptibilité.	150
6.3. Angiographie	150
6.3.1. Imagerie à sang blanc	152
6.3.2. Imagerie par contraste de phase	154
6.3.3. Imagerie à sang noir	156
6.3.4. Autres techniques	159
6.3.5. Angiographie dynamique	159
6.4. Imagerie de perfusion	160
6.4.1. <i>Dynamic susceptibility contrast</i> (DSC)	160
6.4.2. <i>Dynamic contrast enhanced</i> (DCE)	163
6.4.3. <i>Arterial spin labeling</i> (ASL)	166
6.4.4. Approches expérimentales.	168
6.5. Considérations pour l'imagerie chez l'homme et le petit animal	170
6.5.1. Angiographie chez le rongeur.	171
6.5.2. IRM de perfusion chez le rongeur	171
6.6. Bibliographie	172

Chapitre 7. Imagerie quantitative biomécanique par élastographie par résonance magnétique 177

Olivier BEUF, Philippe GARTEISER, Kevin TSE VE KOON
et Jonathan VAPPOU

7.1. Les bases de l'élastographie par résonance magnétique.	177
7.1.1. Introduction	177
7.1.2. Encodage du signal ERM	180
7.1.3. Reconstruction des données ERM	185
7.2. Les séquences ERM.	187
7.2.1. Encodage fractionnel	188
7.2.2. Encodage multidirectionnel	188
7.2.3. ERM-diffusion	189
7.2.4. ERM par contrôle optimal.	190
7.3. Les principaux organes cibles et les applications.	193
7.3.1. L'ERM du foie	193
7.3.2. L'ERM du cerveau	195
7.3.3. L'ERM et les autres organes	196
7.3.4. Applications autres	198
7.4. Conclusion	202
7.5. Remerciements.	202
7.6. Bibliographie	203

Chapitre 8. Imagerie des interactions dipolaires dans les tissus biologiques : ihMT et UTE. 209

Guillaume DUHAMEL, Olivier GIRARD, Paulo LOUREIRO DE SOUSA
et Lucas SOUSTELLE

8.1. Introduction.	209
8.2. Origine des T2 ultracourts	211
8.2.1. Couplage dipolaire en RMN	211
8.2.2. Élargissement dipolaire des raies de résonance	213
8.2.3. Moyennage par le mouvement	215
8.3. Imagerie du transfert d'aimantation inhomogène.	216
8.3.1. Ordre dipolaire et saturation radiofréquence	216
8.3.2. Ordre dipolaire et transfert d'aimantation inhomogène.	219
8.3.3. Spécificité du signal ihMT et relaxation de l'ordre dipolaire	221
8.3.4. Spécificité du signal ihMT pour la myéline	224
8.3.5. Perspectives en recherche	226
8.4. Imagerie à temps d'écho ultracourt (UTE)	227
8.4.1. Définition des gammes de T_2	227
8.4.2. Distribution des T2 courts dans le tissu cérébral.	228
8.4.3. Quels défis techniques pour la détection du signal à T_2 ultracourt ?	228
8.4.4. Quels défis pour la caractérisation du signal à T_2 ultracourt dans le tissu cérébral ?	232
8.4.5. Applications : imagerie de la myéline	234
8.5. Conclusion	237
8.6. Bibliographie.	237

Chapitre 9. Spectroscopie RMN *in vivo* et imagerie métabolique 243

Julien FLAMENT, Hélène RATINEY et Fawzi BOUMEZBEUR

9.1. Introduction.	243
9.2. Spectroscopie RMN <i>in vivo</i>	244
9.2.1. Signal de précession libre (<i>free induction decay</i>)	245
9.2.2. Déplacement chimique et couplage dipolaire	247
9.2.3. Métabolites d'intérêt en SRM.	251
9.2.4. Principe de localisation du signal.	251
9.2.5. Édition, suppression, inversion du signal	255
9.2.6. Considérations expérimentales en SRM.	255
9.3. Traitement et quantification des signaux en SRM	257
9.3.1. Bonnes pratiques pour le prétraitement des données SRM/CSI	257
9.3.2. Méthode de quantification.	261

9.4. Imagerie par transfert de saturation par échange chimique	266
9.4.1. Principe général	266
9.4.2. Conditions d'observation CEST	267
9.4.3. Transfert de saturation	270
9.4.4. Caractérisation du transfert d'aimantation	272
9.5. Spectroscopie ou imagerie des noyaux non-protons	274
9.5.1. Noyaux d'intérêt en SRM/IRM métabolique	274
9.5.2. Galerie d'applications	275
9.6. Conclusion	278
9.7. Bibliographie	279

Chapitre 10. IRM contraint par le modèle physique : quantification multiparamétrique rapide 285

Benjamin LEPORQ, Thomas CHRISTEN et Ludovic DE ROCHEFORT

10.1. Introduction	285
10.2. IRM multiparamétrique à partir d'acquisitions sensibles au déplacement chimique	286
10.2.1. Origine du signal et acquisition encodée en déplacement chimique	286
10.2.2. Les modèles physiques et méthodes d'optimisation pour la quantification	287
10.2.3. Applications cliniques et précliniques	293
10.3. IRM multiparamétrique à partir d'acquisitions d'états stationnaires dans des séquences répétées rapides	295
10.3.1. Équilibre dans une séquence stationnaire sans effet transverse	295
10.3.2. Prise en compte des effets transverses pour décrire l'état stationnaire	296
10.3.3. Exploitation pour l'imagerie quantitative multiparamétrique . .	301
10.3.4. Applications cliniques et précliniques	303
10.3.5. Conclusion	305
10.4. L'IRM <i>Fingerprint</i>	305
10.4.1. Concept	305
10.4.2. Différents types de mesures	306
10.4.3. Développements techniques	310
10.4.4. Applications et perspectives	312
10.5. Conclusion	312
10.6. Bibliographie	313

Chapitre 11. IRM interventionnelle	321
Bruno QUESSON et Valéry OZENNE	
11.1. Introduction à l'IRM interventionnelle	321
11.1.1. Planification du geste	321
11.1.2. Imagerie peropératoire	322
11.1.3. Imagerie de suivi post-opératoire	322
11.2. Considérations techniques pour l'IRM interventionnelle	324
11.2.1. Choix de la séquence d'acquisition IRM	324
11.2.2. Reconstruction d'images	325
11.2.3. Analyse et affichage d'images.	325
11.2.4. Gestion des mouvements.	326
11.3. Instrumentation pour l'IRM interventionnelle.	327
11.3.1. Dispositifs médicaux thérapeutiques intracorporels	327
11.3.2. Dispositifs médicaux thérapeutiques extracorporels	329
11.4. MR-Linac	329
11.5. Thermométrie IRM pour guider les thérapies.	330
11.5.1. Principe de la thermométrie IRM	330
11.5.2. Mise en œuvre pratique, avantages et limitations de la thermométrie IRM	335
11.6. Ultrasons focalisés de haute intensité (HIFU).	337
11.6.1. Principes généraux	337
11.6.2. Domaines applicatifs	340
11.7. Perspectives de l'IRM interventionnelle	340
11.8. Bibliographie	342
 Chapitre 12. Imagerie à ultra-haut champ	 345
Virginie CALLOT et Alexandre VIGNAUD	
12.1. Bref historique	345
12.2. Quête vers les hauts champs – pourquoi ?	347
12.2.1. Avantages et intérêts des systèmes à ultra-haut champ	347
12.2.2. Inconvénients, défis, challenges.	353
12.3. Quête vers les hauts champs – comment ?	358
12.3.1. Contraintes techniques	358
12.3.2. Contraintes physiologiques, contre-indications et sécurité	359
12.4. Applications phares et nouvelles opportunités	360
12.4.1. Maladies cérébrovasculaires.	360
12.4.2. Tumeurs cérébrales	363
12.4.3. Épilepsie focale	363
12.4.4. Sclérose en plaques (SEP)	364

12.4.5. Imagerie sodium	365
12.4.6. Création de nouveaux espaces de normalisation (<i>templates</i>) . . .	366
12.4.7. Imagerie du cartilage et des dommages musculaires	366
12.5. Solutions techniques et imagerie en transmission parallèle	368
12.6. Conclusion	370
12.7. Remerciements	372
12.8. Bibliographie	372
Liste des auteurs	379
Index	383