

Table des matières

Chapitre 1. Les noyaux actifs de galaxies : un combat entre accréation et éjection	1
Suzy COLLIN-ZAHN	
1.1. Historique : découverte et observations initiales	1
1.2. Propriétés observationnelles importantes	7
1.2.1. Les AGN à travers le spectre électromagnétique	7
1.2.2. Variabilité (AGN non radio)	19
1.3. Interprétation I : les processus thermiques.	20
1.3.1. Généralités	20
1.3.2. Formation du spectre de la BLR et de la NLR	22
1.3.3. Les raies permises et les raies interdites.	25
1.3.4. Variabilité des raies permises et du continu, cartographie par réverbération	29
1.3.5. Le gaz chaud.	34
1.4. Interprétation II : les modèles théoriques	36
1.4.1. Le trou noir.	36
1.4.2. Le disque d'accréation.	38
1.4.3. La BLR et la NLR	45
1.4.4. Le tore de poussières	47
1.4.5. Le milieu chaud : un vent	48
1.5. Vers une vision unifiée des AGN.	51
1.5.1. Généralités	51
1.5.2. Approche théorique.	54
1.5.3. Approche empirique	58
1.5.4. Conclusion	59
1.6. Bibliographie.	63

Chapitre 2. Le trou noir Galactique.	67
Mark MORRIS	
2.1. L'émergence historique du trou noir Galactique	67
2.2. La masse du trou noir Galactique	68
2.3. La relativité générale et le trou noir Galactique	71
2.4. Le flot d'accrétion : signatures électromagnétiques du trou noir Galactique.	74
2.4.1. Émission infrarouge de Sgr A*	74
2.4.2. Émission variable de rayons X par Sgr A*	80
2.4.3. Mécanismes d'émission : des ondes radio aux rayons X et délais temporels en fonction de la fréquence	81
2.4.4. Variations à long terme de la luminosité d'accrétion de Sgr A*	87
2.5. La dynamique du flot d'accrétion.	89
2.6. Les éruptions du TNG	92
2.6.1. Vent éjecté par le flot d'accrétion du TNG	92
2.6.2. Un jet produit par le TNG ?	94
2.7. Perspectives	95
2.8. Bibliographie.	96
Chapitre 3. Disques d'accrétion des AGN	105
Jean-Pierre LASOTA	
3.1. Introduction.	105
3.2. Trous noirs	106
3.2.1. Horizon	106
3.2.2. Orbites caractéristiques	108
3.2.3. Énergie de liaison et efficacité de l'accrétion	109
3.2.4. Espace en rotation.	110
3.2.5. Ergorégion	111
3.2.6. Taux d'accrétion d'Eddington	112
3.3. Mécanisme de fonctionnement des disques ; viscosité	112
3.3.1. La prescription α	114
3.4. Disques képlériens géométriquement minces	115
3.4.1. Structure verticale du disque	116
3.4.2. Structure radiale du disque	119
3.4.3. Auto-gravité	122
3.4.4. Disques stationnaires	124
3.4.5. Taille du disque	128
3.4.6. Raies spectrales des disques d'accrétion képlériens.	129
3.4.7. Structure radiative	134
3.4.8. Modèle du disque mince de Shakura–Sunyaev.	137

3.5. Instabilités du disque	139
3.5.1. L'instabilité thermique	140
3.5.2. Équilibres thermiques : la courbe S	142
3.5.3. Variabilité des disques d'AGN instables	145
3.6. Au-delà des disques minces	148
3.6.1. Modèles simplifiés d'un flot d'accrétion dominé par l'advection	150
3.7. Couronnes du disque	156
3.8. Disques, vents et jets	157
3.8.1. La solution « oubliée » de Shakura-Sunyaev	158
3.8.2. Jets relativistes	159
3.9. Bibliographie	162

Chapitre 4. Jets relativistes et mécanismes

aux très hautes énergies	165
Hélène SOL	

4.1. L'avènement de l'astronomie gamma au sol	166
4.2. Les noyaux actifs de galaxies observés en rayons gamma de très haute énergie	169
4.2.1. L'échantillon actuel : caractéristiques et biais observationnels	169
4.2.2. Variabilité des AGN aux THE	171
4.2.3. Distribution d'énergie spectrale	175
4.2.4. Classification des sources	177
4.3. Les jets extragalactiques, des structures observées du sub-parsec au mégaparsec	179
4.3.1. Les jets nucléaires étudiés en interférométrie radio en-deçà du parsec	180
4.3.2. Les jets étendus à l'échelle du kpc et au-delà	185
4.4. Émissions non thermiques et modèles radiatifs instantanés	189
4.4.1. Émission synchrotron	189
4.4.2. Émission Compton-inverse et modèles leptoniques	196
4.4.3. Modèles hadroniques et lepto-hadroniques	201
4.4.4. Propagation des photons THE : création de paires, absorption et cascades électromagnétiques	204
4.5. Accélération de particules et modèles radiatifs dépendants du temps	206
4.5.1. Modèles radiatifs et évolution temporelle	206
4.5.2. Mécanismes d'accélération de Fermi	208
4.5.3. Reconnexion magnétique	214

4.5.4. Accélération dans la magnétosphère des trous noirs massifs . . .	216
4.5.5. Variabilité et spectres dynamiques	219
4.6. Perspectives sur les noyaux actifs de galaxies aux très hautes énergies	224
4.6.1. Une situation actuelle contrastée	224
4.6.2. Un futur instrumental très prometteur	225
4.6.3. L'enjeu spécifique d'un modèle général de référence.	229
4.6.4. Les AGN, partenaires de nos sociétés technologiques	233
4.7. Bibliographie.	235

Chapitre 5. Co-évolution bulbes-trous noirs, alimentation et feedback des AGN 247

Françoise COMBES

5.1. Co-évolution : masse des trous noirs et masse des bulbes	247
5.1.1. Comment peser les trous noirs ?	247
5.1.2. Dispersion de vitesses du bulbe.	252
5.1.3. Cas particuliers et exceptions : trous noirs obèses.	255
5.1.4. Trous noirs à grand redshift	257
5.2. Interprétations : cause ou effet ?	259
5.2.1. Évolution de la formation d'étoiles et de l'accrétion des trous noirs	259
5.2.2. <i>Downsizing</i> , formation des AGN couplée avec la formation d'étoiles	261
5.2.3. Le feedback : comment le trou noir peut-il influencer le bulbe ?	265
5.2.4. Feedback : mode radiatif et vent du quasar, ou mode mécanique du jet radio.	266
5.3. Processus d'alimentation des trous noirs.	272
5.3.1. Problème du moment angulaire, processus stellaires	272
5.3.2. Alimentation avec du gaz, couples de gravité	275
5.3.3. Sphère d'influence et tore moléculaire	277
5.4. Feedback des AGN : efficacité	281
5.4.1. La nécessité du feedback.	281
5.4.2. Prototype : les flots de refroidissement	283
5.4.3. Outflows moléculaires	287
5.5. Conclusion	290
5.6. Bibliographie.	290

Chapitre 6. Trous noirs binaires dans l'univers des ondes gravitationnelles	295
Monica COLPI	
6.1. Introduction.	296
6.2. Les trous noirs dans le paysage cosmique	297
6.3. Ondes gravitationnelles provenant de trous noirs binaires en coalescence.	302
6.4. L'univers des ondes gravitationnelles	307
6.5. Dynamique des trous noirs dans les galaxies en fusion	311
6.6. Vues multimessagers de la fusion d'un trou noir massif	317
6.7. Conclusion	318
6.8. Bibliographie.	319
Liste des auteurs.	323
Index	325