

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 |