

PROfil

# Guide pratique pour (bien) débiter en spectroscopie astronomique

**François Cochard**

*Préface de Claude Catala*

**edp sciences**

# Guide pratique pour (bien) débuter en spectroscopie astronomique

François Cochard

Illustration de couverture : Le profil spectral est celui de l'étoile Be *V731 Tau*, et couvre tout le domaine visible. Il montre une forte émission de la raie H $\alpha$  (dans le rouge), ainsi qu'une plus faible de la raie H $\beta$  (dans le bleu). Les étoiles Be représentent un sujet d'étude passionnant pour les astronomes amateurs, qui peuvent ainsi contribuer très activement à la Recherche en collaboration avec des équipes professionnelles. L'image de fond a été réalisée par Olivier Garde, et couvre une région autour de l'étoile Antarès.

Imprimé en France, 2<sup>e</sup> tirage  
ISBN : 978-2-7598-1784-9

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2016

# Table des matières

<b>Préface</b> .....	xi
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre 1 • Entrer dans la spectroscopie astronomique amateur</b> .....	7
1.1 Spectrographie, spectrométrie, spectroscopie... ..	7
1.2 À quoi ressemble un spectre? .....	7
1.3 Le chaînon manquant .....	9
1.4 Bref historique .....	13
1.5 La spectroscopie amateur de nos jours .....	16
1.6 Aborder la spectroscopie .....	20
<b>Chapitre 2 • La lumière</b> .....	27
2.1 La lumière est une onde .....	27

2.2	La lumière est une particule . . . . .	31
2.3	Fabriquer de la lumière . . . . .	33
2.4	Décaler un spectre . . . . .	38
2.5	Ce que voit l'œil humain . . . . .	41
2.6	Atomes et molécules . . . . .	43
<b>Chapitre 3 • Ce que la lumière nous dit des étoiles . . . . .</b>		<b>45</b>
3.1	La lumière d'une étoile ordinaire . . . . .	46
3.2	Chaque étoile a son spectre propre . . . . .	48
3.3	Observer à différentes résolutions . . . . .	49
3.4	Magnitude limite . . . . .	53
3.5	Un ciel en mouvement . . . . .	55
3.6	Évolution dans le temps . . . . .	60
3.7	Il n'y a pas que les étoiles . . . . .	61
3.8	Une chimie très rudimentaire . . . . .	61
<b>Chapitre 4 • Quelles observations avec quel instrument? . . . . .</b>		<b>63</b>
4.1	Les questions de base . . . . .	63
4.2	Plusieurs types d'observations . . . . .	66
4.3	Quel phénomène physique observer? . . . . .	68
4.4	Commencez par la basse résolution . . . . .	69
4.5	Commencez par les différents types spectraux . . . . .	70
4.6	Organisez votre observation . . . . .	70
<b>Chapitre 5 • Principes optiques d'un spectroscopie . . . . .</b>		<b>71</b>
5.1	Réflexion, réfraction et diffraction . . . . .	71
5.2	Prisme et réseau . . . . .	74
5.3	Rappels d'optique géométrique . . . . .	84
5.4	Lunettes et télescopes . . . . .	88
5.5	Architecture d'un spectroscopie . . . . .	90
5.6	Un exemple concret : Alpy 600 . . . . .	93
5.7	Un autre exemple : Lhires III . . . . .	95
5.8	L'étage de guidage . . . . .	97

5.9	Lumière d'étalonnage .....	99
5.10	Les spectroscopes échelle .....	101
5.11	Fibre optique .....	102
<b>Chapitre 6 • Paramètres principaux d'un spectroscopie .....</b>		<b>105</b>
6.1	Résolution et pouvoir de résolution .....	106
6.2	Ouverture (rapport F/D) .....	108
6.3	Grandissement et échantillonnage .....	110
6.4	Résolution et dispersion .....	114
6.5	Étendue spectrale .....	114
6.6	Domaine spectral .....	115
6.7	Efficacité/Rendement .....	115
6.8	Tirage mécanique et fixation .....	117
6.9	Télescope et qualité du ciel .....	119
6.10	Ajuster la configuration .....	121
6.11	Faire simple! .....	126
<b>Chapitre 7 • Caméra CCD et logiciel d'acquisition .....</b>		<b>127</b>
7.1	Un vaste choix .....	128
7.2	Capteur d'image ou de lumière? .....	131
7.3	Logiciel d'acquisition .....	134
7.4	Quelques manipulations simples .....	136
<b>Chapitre 8 • Régler le spectroscopie sur table .....</b>		<b>145</b>
8.1	Quelle source de lumière? .....	146
8.2	Installer la caméra d'acquisition .....	149
8.3	Focalisation et orientation .....	150
8.4	Le bleu à gauche, le rouge à droite .....	152
8.5	Choisir la plage de longueur d'onde .....	153
8.6	Régler la caméra de guidage .....	154
<b>Chapitre 9 • Mesure physique et réduction de données .....</b>		<b>155</b>
9.1	Votre mission : le profil spectral .....	156

9.2	Ne pas mettre la charrue avant les bœufs . . . . .	156
9.3	Intensité et longueur d'onde . . . . .	157
9.4	Distinguer Technique et Science . . . . .	157
9.5	Erreur systématique et aléatoire . . . . .	158
9.6	Rapport Signal/Bruit . . . . .	159
9.7	Les étapes de la réduction de données . . . . .	160
9.8	Catalogues d'étoiles de référence . . . . .	169
9.9	Une observation est un groupe d'images . . . . .	170
<b>Chapitre 10 • Une première observation spectroscopique : le Soleil . . . . .</b>		
10.1	Images de référence . . . . .	174
10.2	Réduction des données . . . . .	175
10.3	Étalonnage en longueur d'onde . . . . .	181
10.4	Correction de la réponse instrumentale . . . . .	183
<b>Chapitre 11 • Maîtriser le télescope . . . . .</b>		
11.1	Maîtriser la monture . . . . .	189
11.2	Calculer le champ de l'image . . . . .	196
11.3	Repérer les mouvements du télescope . . . . .	198
11.4	Pointer une étoile . . . . .	200
11.5	Autoguidage . . . . .	204
<b>Chapitre 12 • Installer le spectroscopie sur le télescope . . . . .</b>		
12.1	Fixation rigide . . . . .	210
12.2	Orientation du spectroscopie . . . . .	210
12.3	Équilibrage et gestion des câbles . . . . .	211
12.4	Mise sous tension . . . . .	212
12.5	Focalisation guidage et télescope . . . . .	213
12.6	Dernières vérifications . . . . .	215
12.7	À la nuit tombée . . . . .	216
<b>Chapitre 13 • Observation spectroscopie d'une (autre) étoile . . . . .</b>		
13.1	Démarrer l'installation . . . . .	224

13.2	Pointez l'étoile de référence . . . . .	224
13.3	Pointez l'étoile cible . . . . .	224
13.4	Faites toutes les images de référence . . . . .	225
13.5	Réduire les données . . . . .	225
13.6	Aller plus loin . . . . .	227
<b>Chapitre 14</b>	<b>• Mesurer la qualité du spectre . . . . .</b>	<b>231</b>
14.1	Lire le compte rendu de calcul . . . . .	232
14.2	Comparer avec les autres observateurs . . . . .	232
14.3	Vérifier l'étalonnage en longueur d'onde . . . . .	233
14.4	Disparité dans les observations . . . . .	235
14.5	Mesure du rapport S/B . . . . .	235
14.6	Niveau de signal pour votre instrument . . . . .	235
<b>Chapitre 15</b>	<b>• Paré pour l'aventure . . . . .</b>	<b>237</b>
15.1	Session d'observation typique . . . . .	237
15.2	Améliorer les observations . . . . .	239
15.3	Améliorer la qualité des données . . . . .	239
15.4	Améliorer la productivité . . . . .	243
15.5	Partager vos résultats . . . . .	245
15.6	Des spectres de qualité professionnelle . . . . .	245
<b>Chapitre 16</b>	<b>• Conclusion . . . . .</b>	<b>247</b>
	Glossaire . . . . .	249
	Références . . . . .	251

*Note : les termes soulignés de cette manière dans le texte sont définis dans le glossaire.*





# Remerciements

Ce livre est né des nombreux échanges que j'ai pu avoir depuis plus d'une vingtaine d'années, avec la communauté des astronomes. Une communauté internationale, riche, variée, curieuse, entreprenante – passionnante.

Dans cette communauté, certains m'ont appris (beaucoup), d'autres m'ont fait confiance. Il y a des amateurs et des professionnels... beaucoup sont les deux à la fois.

J'ai une pensée particulière pour :

- Christian Buil, qui m'a tant appris. Merci pour tous ces échanges passionnés !
- Valérie Desnoux, sa compagne. Merci pour ta belle présence, et pour tous tes engagements dans Visual Spec, dans BeSS, dans les réflexions stratégiques.
- Coralie Neiner, astrophysicienne à l'Observatoire de Paris, qui nous a fait découvrir les étoiles Be, et qui est devenue une amie. Merci pour les longues discussions pour refaire le monde.
- Olivier Thizy, avec qui nous menons depuis 2006 l'aventure de l'entreprise Shelyak Instruments.

Et puis... il y a toutes ces rencontres, inépuisables sources d'énergie sur mon « chemin d'astronomie »... Maurice Abad, Agnès Acker, Jacques Adda, Evelyne Alecian, Luc Arnold, Mathieu Barthélémy, Paolo Berardi, Laurent Bernasconi, Lionel Birée, Katherine Blundell, Michel Boer, Michel Bonnemet, Franck Boubault, Sylvain Bouley, Hubert Boussier, Christophe Boussin, Jacques Boussuge, Vincent

Bouttard, Nathalie Bressand, Jean-Jacques Broussat, Yolande Buchet, Rémi Cabanac, Martine Castets, Claude Catala, Cyril Cavadore, Pascal Chambraud, Stéphane Charbonnel, Rémy Chirié, François Colas, Sophie Combe, Pierre Cruzalèbes, Jean-Luc Dauvergne, Raymond David, Steve Dearden, Bertrand De Batz, Robert Delmas, Joël Desbordes, Pierre Dubreuil, Martin Dubs, Dominique Ducerf, Nicolas Durand, Jim Edlin, Pierre Farissier, Stéphane Fauvaud, André Favaro, Christian Feghali, Paul Felenbok, Michèle Floquet, Patrick Fosanelli, Anne-Marie Galliano, Olivier Garde, Thierry Garrel, Christophe Gillier, Jean-Paul Godard, Thierry Godard, Keith Graham, Joan Guarro, Patrick Guibert, Anton Heidemann, Huib Heinrichs, Christian Hennes, Anne-Marie Hubert, Jak de Jesus, Hugo Kalbermatten, Alain Klotz, François Kugel, Olivier Labreuvier, Robin Leadbeater, Pascal Le Du, Steve Lee, Jean-Christophe Le Floch, Thierry Lemoult, Auguste Le Van Suu, Arnaud Leroy, Bernard Leroy, Jean Lilensten, Alain Lopez, Pierre Maquart, Vincent Marik, Gérard Martineau, Jean-Pierre Masviel, Stéphane Mathis, Benjamin Mauclair, Philippe Michel, Jacques Michelet, Richard Monnerot, Romain Montaigut, Claire Moutou, Patrick Pelletier, Sandrine Perruchot, Éric Piednoël, Jean-François Pittet, Michel Pujol, Ernst Pollmann, Franck Razafimaharo, Christian Revol, André et Sylvain Rondi, Jean-Paul Roux, Jean-Pierre Rozelot, Raymond Sadin, Éric Sarazin, Jean-Pierre Sarreyan, Carl Sawicki, Mathieu Senegas, Joël Setton, Steve Shore, Alain Soutter, Jean-Noël Terry, François-Mathieu Teyssier, Bernard Trégon, Franck Valbousquet, Céline et Sébastien Vauclair, Sylvie Vauclair, Adrien Viciano, Brigitte Zanda...

Une pensée pour mes enfants, Julien, Marion, Armand – votre fraîcheur me fait tant de bien – ainsi que pour Nathalie, avec qui on invente chaque jour notre chemin. Une pensée, enfin, pour mes deux sœurs, Marie et Cécile, ainsi que...

*À papa, qui nous a donné des racines,  
À maman, qui nous a donné des ailes.*

# Préface

Avec une histoire de plus de cinq mille ans, l'astronomie est une des sciences les plus anciennes. Nos très lointains ancêtres ont très tôt compris l'intérêt de mesurer, comprendre et exploiter la course des astres dans le ciel pour mettre au point des horloges et des calendriers précis et fiables, mais ont certainement aussi été fascinés par la beauté, l'immensité et la complexité de l'univers, comme nous le sommes encore aujourd'hui.

L'attrait pour la majesté du spectacle que nous offre le ciel nocturne est très certainement la motivation première de la plupart des astronomes amateurs, et il faut dire aussi qu'il est à l'origine de beaucoup de vocations d'astronomes professionnels. Mais traditionnellement, tandis que l'astronome amateur a comme but en soi d'effectuer une belle observation, au prix d'efforts parfois conséquents, à partir d'instruments qu'il a souvent confectionnés ou perfectionnés lui-même, l'astronome professionnel cherche plutôt, à travers l'observation, à comprendre le fonctionnement des astres qu'il observe.

Il est fascinant pour l'astronome professionnel que je suis de constater que cette recherche du savoir, cette passion qui m'anime, comme tous mes collègues astronomes, pour les lois qui régissent le comportement des objets célestes, est en fait largement partagée par la communauté des astronomes amateurs. De l'amour du beau à l'amour de la science, il n'y a donc qu'un pas.

Un pas que François Cochard nous invite à franchir avec ce bel ouvrage, dont l'objectif est de nous guider agréablement et efficacement sur le chemin de la spectroscopie astronomique à l'usage des astronomes amateurs.

La spectroscopie consiste à décomposer la lumière en fonction de sa longueur d'onde, de manière plus ou moins précise selon la performance de l'instrument utilisé. L'application de la spectroscopie à l'astronomie est aussi ancienne que la spectroscopie elle-même. Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, des physiciens et astronomes visionnaires, comme Joseph von Fraunhofer, puis Robert Bunsen et Gustav Kirchhoff en Allemagne, ou encore Jules Janssen et Henri Deslandres à l'Observatoire de Paris, braquèrent leurs spectrographes sur le Soleil, découvrirent émerveillés la richesse du spectre solaire, et commencèrent à en déduire la composition et les caractéristiques de notre astre du jour.

La spectroscopie est un outil formidable qui nous donne accès à une foule de renseignements sur les régions d'où nous parvient la lumière analysée. On peut ainsi déterminer la composition chimique de l'astre observé, sa vitesse par rapport à la Terre, sa température, sa vitesse de rotation, etc. Ainsi, en développant et en perfectionnant ce merveilleux outil, les astronomes ont appris au fil du temps à mesurer la vitesse des lointaines galaxies et à en déduire les propriétés de l'expansion de l'univers. Ils ont réussi également, en mesurant avec une précision extrême la vitesse radiale des étoiles grâce à la spectroscopie, à détecter l'infime mouvement imprimé à ces étoiles par la révolution de planètes autour d'elles. Ce sont les fameuses exoplanètes qui font l'objet depuis une vingtaine d'années d'une chasse particulièrement fructueuse.

Cet outil fantastique est aujourd'hui à la portée des astronomes amateurs, comme nous le montre ce livre. Les progrès technologiques qui ont d'abord conduit à la démocratisation des détecteurs CCD ont ensuite engendré des gammes de spectrographes accessibles à tous, pour toutes sortes de budgets. Et les astronomes amateurs peuvent donc aujourd'hui, en plus de savourer les images magnifiques des objets célestes, effectuer sur ces derniers des mesures précises, tout comme les astronomes professionnels.

Nous sommes donc à l'orée d'un âge d'or, où astronomes amateurs et professionnels pourront unir leurs talents et leurs efforts pour avancer dans la compréhension de l'univers. Là où les professionnels mettent au point des instruments uniques au monde, ultra-sophistiqués, montés sur des télescopes géants implantés au bout du monde ou même dans l'espace, mais qu'ils ne peuvent utiliser qu'avec parcimonie, les amateurs, armés de leurs télescopes et spectrographes certes moins performants, mais tellement plus nombreux et versatiles, peuvent apporter leur contribution irremplaçable.

En coordonnant leurs observations dans le cadre d'un dialogue avec les professionnels, ils peuvent contribuer aux programmes de recherche en cours, en fournissant des données précieuses venant compléter celles acquises sur les grands instruments de pointe. Cela peut prendre la forme par exemple du suivi systématique dans le temps d'étoiles variables, ou bien d'observations spectroscopiques de vastes échantillons

d'étoiles, que les professionnels ont bien du mal à obtenir du fait de la difficulté d'accès aux grands instruments.

L'ouvrage que vous vous apprêtez à lire est remarquable en ce sens qu'il place les bases de la spectroscopie astronomique à la portée de tous, et apporte tous les conseils pratiques pour sa mise en œuvre. Il vous donnera sans nul doute l'envie de participer à cette grande et belle aventure, ainsi que les moyens d'y parvenir.

Claude Catala  
Président de l'Observatoire de Paris



# Introduction

La première fois que j'ai vu un spectre d'étoile, avec un bricolage en bois et un petit réseau de diffraction monté derrière mon télescope, je n'en ai pas cru mes yeux. L'émotion était aussi intense que lorsque j'ai découvert les cratères de la Lune aux jumelles ou les anneaux de Saturne dans un petit télescope. Sentiment de vertige, de toucher du doigt quelque chose d'incroyable.

Depuis cet instant (c'était au début des années 2000), beaucoup d'eau a coulé sous les ponts mais l'émotion reste intacte. Et je sais maintenant que c'est une émotion contagieuse : à chaque fois que j'ai eu l'occasion de faire des présentations sur la spectroscopie, j'ai pu constater que le sujet fait facilement briller les yeux de l'auditoire. « Vous dites qu'avec un petit instrument dans mon jardin, je peux mesurer des vitesses, des températures, des périodes de rotation, des compositions chimiques d'étoiles ? »

Oui – et bien plus encore.

## Plusieurs miracles

J'ai la chance de participer au développement de cette discipline dans le milieu de l'astronomie amateur. Avec un peu de recul, je vois que c'est une aventure à la



convergence de plusieurs « miracles ».

- D’abord, il y a l’astrophysique elle-même. Les dimensions, les distances, les masses en jeu dans les étoiles sont hors de portée de notre pensée ; et pourtant, la lumière qu’elles nous envoient contient une information fournie, qui elle est à la portée de notre esprit. Nous n’irons jamais sur une étoile, et pourtant nous pouvons en détailler le fonctionnement avec une précision étonnante. J’aime la citation de Einstein : « Ce qui est incompréhensible, c’est que le monde soit compréhensible ».
- Il y a ensuite le travail colossal qui a été fait par des générations de pionniers, d’aventuriers, de chercheurs, souvent besogneux, quelques fois géniaux, pour nous offrir aujourd’hui les clefs de la compréhension de la lumière des étoiles. Faire de la spectroscopie astronomique, c’est leur rendre un hommage, aller à la rencontre d’un édifice merveilleux de la connaissance humaine, bâti pierre à pierre et dont la construction se poursuit encore aujourd’hui.
- Et puis il y a la force des rencontres, entre quelques individus passionnés – amateurs et professionnels – aux compétences fortes et complémentaires, qui ont permis de concrétiser des idées un peu folles : de la réalisation de prototypes de spectroscopes jusqu’à la création d’une entreprise (Shelyak Instruments<sup>1</sup>) pour concevoir, fabriquer et diffuser des instruments nouveaux... expérience humaine forte.
- J’ai compris petit à petit que lorsque les amateurs font des observations en spectroscopie, ils ne font pas que suivre les professionnels en reproduisant des expériences connues depuis quelques décennies. À condition d’observer « collectivement » – c’est-à-dire de manière concertée entre amateurs – *nous constituons un instrument inédit*, qui permet des observations inaccessibles aux professionnels. Aujourd’hui, les collaborations entre amateurs et professionnels se multiplient dans le monde et une communauté internationale se constitue : ce n’est que le début de l’aventure.

Dans le contexte actuel qui confie la recherche scientifique à des « spécialistes confinés dans leurs laboratoires » (en l’occurrence dans leurs observatoires), la spectroscopie astronomique permet de nous rappeler que la recherche est avant tout affaire de curiosité, et qu’elle est accessible à chacun de nous.

Je suis convaincu que cette *posture* de curiosité humaine – base de la recherche scientifique – est pour beaucoup dans le succès que connaît aujourd’hui la spectroscopie.

J’ai eu l’occasion de voir de nombreuses personnes démarrer en spectroscopie, et j’ai souvent été étonné de voir que certaines d’entre elles démarraient complètement en astronomie pratique – c’est-à-dire qu’elles n’avaient pas forcément l’expérience de la manipulation d’un télescope ou d’une caméra CCD. Pour ces personnes, passer des heures à faire des images du ciel n’est pas une grande motivation. En revanche, faire des mesures de température ou de vitesse avec un petit instrument en est une suffisante pour passer à l’acte et investir dans du matériel.

Je parlais plus haut de mon émotion devant le premier spectre que j’ai pu réaliser : une part de cette émotion tenait au fait que j’avais devant moi un montage très rustique,

---

<sup>1</sup> [www.shelyak.com](http://www.shelyak.com)

très simple, sur un télescope très modeste. Non, vraiment, obtenir un spectre d'étoile n'est pas compliqué.

## Spectroscopie... facile ?

J'ai donc beaucoup communiqué autour de cette idée : « la spectro, c'est facile ». C'est même à certains égards plus facile que l'imagerie du ciel profond.

Pour autant, j'ai pu constater souvent que nombre de débutants en spectro se lancent avec beaucoup d'enthousiasme... puis sont rapidement confrontés à des problèmes très concrets. Au point de renoncer quelques fois. J'ai régulièrement été irrité par le fait que souvent des observateurs venaient vers nous (dans le cadre de l'entreprise) avec des problèmes qui n'étaient pas vraiment spécifiques à la spectroscopie : difficulté pour installer un logiciel, pour piloter leur monture, pour manipuler des images CCD, pour pointer une étoile... « la spectro c'est facile », à condition toutefois de maîtriser quelques éléments techniques en amont !

J'ai été irrité, mais une petite voix me disait qu'il faut bien en passer par là pour accéder à la « la spectro facile ». Je sais comme il peut être frustrant de travailler sur une observation « magique », et d'être bloqué sur un détail technique ridicule – comme beaucoup d'observateurs, j'ai perdu pas mal de nuits d'observation pour des bêtises. La spectroscopie serait donc finalement une activité réservée à une élite très expérimentée ? Que non ! Certes il y a plusieurs éléments à mettre sous contrôle, mais aucun d'entre eux n'est bien complexe.

Après quelques années au contact de cette communauté d'observateurs, je peux lister les différents éléments à maîtriser pour pratiquer une spectroscopie « sereine et efficace ». Ce livre est né de cette réflexion – en même temps que de la demande de plus en plus pressante de formation dans cette discipline. Mon objectif est donc clairement de vous permettre de démarrer en douceur et de manière rationnelle dans la spectroscopie astronomique – et de vous convaincre, si vous hésitez encore à vous lancer, que vous pouvez vous aussi arriver à des observations extraordinaires pour un minimum d'efforts.

Vous trouverez donc dans les pages qui suivent des conseils pratiques vous permettant de démarrer. J'insiste sur cet aspect *pratique* : je n'ai pas pour ambition de faire un cours d'optique ou d'astrophysique, mais bien de vous accompagner pour réaliser vos premiers spectres par vous-même.

## Le triptyque de la spectroscopie

L'organisation de ce livre part d'un constat qui m'a permis de comprendre les différences importantes d'un observateur à l'autre. Ce n'est pas fondamentalement une question de niveau ou d'expérience, mais plutôt de parcours personnel.

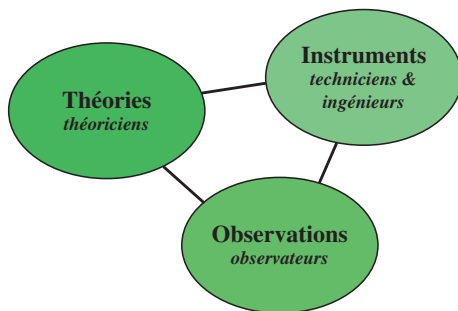


Figure 1. *Le triptyque de la recherche en astrophysique.*

La recherche scientifique – et particulièrement la recherche en astrophysique – s’appuie sur trois acteurs principaux, qui permettent chacun d’apporter des nouveautés. Il s’agit des théoriciens, des instrumentalistes et des observateur (fig. 1). Une théorie nouvelle, un instrument innovant ou des observations inédites peuvent chacun faire « bouger les lignes » de la recherche.

On peut faire une analogie avec la spectroscopie astronomique pratiquée en milieu amateur : vous obtiendrez des résultats pertinents si vous avez un bagage suffisant dans trois domaines essentiels et très différents (fig. 2) :

- astrophysique : comprendre la lumière et ce qu’elle nous dit des étoiles (partie théorique) ;
- comprendre comment fonctionne un spectroscope (partie instrumentale) ;
- savoir mener une observation concrète sur le terrain.

Si vous lisez ce livre, c’est très probablement que vous êtes déjà familier ou sensibilisé à au moins l’un de ces trois domaines : parmi les astronomes amateurs, on trouve ceux qui ont découvert les mystères du ciel par les livres, ceux qui se sont allongés dans l’herbe un soir d’été avec une paire de jumelles, et ceux qui ont construit (au moins partiellement) leur instrument (ou écrit du logiciel pour traiter des données

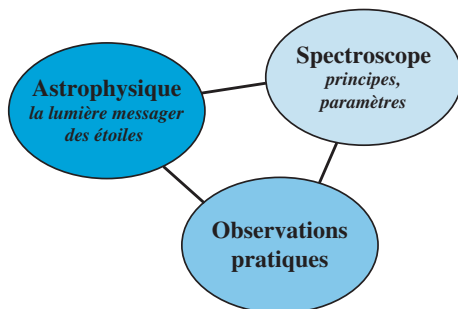


Figure 2. *Le triptyque de la spectroscopie astronomique.*

astronomiques). Évidemment, chacun a son histoire propre, et toutes les combinaisons sont possibles.

Il est donc probable que certaines parties de cet ouvrage vous paraissent évidentes ou inutiles. Je vous invite néanmoins à les parcourir rapidement ; il y a toujours des choses à apprendre.

La spectroscopie est en quelque sorte une « astronomie complète », comme on parle d'un sport complet qui fait travailler tous les muscles. S'il y a une complexité dans la spectroscopie, c'est là qu'elle se niche, dans cette diversité de domaines à aborder et dans le fait d'aller jusqu'à l'observation très concrète sur le terrain.

Une des clefs essentielles pour la suite est de garder en permanence le *bon sens* en état de veille. Nous sommes dans le domaine de l'astrophysique : il n'y a pas plus déterministe ! Je sais que face à un problème technique – particulièrement quand la nuit est bien avancée – on peut avoir un comportement très irrationnel... pourtant, en astronomie, on peut expliquer beaucoup de choses très simplement.

## D'où je vous parle

Je suis astronome amateur « pratiquant » depuis plus d'une vingtaine d'années. Je ne suis pas un observateur très intensif – par faute de temps, comme beaucoup de gens. Mais j'ai pu, au cours du temps, apprendre quelques éléments essentiels qui font une « bonne » observation.

Je suis membre du CALA (Club d'Astronomie de Lyon Ampère<sup>2</sup>). C'est une association dynamique et conviviale, avec qui j'ai pu participer régulièrement à des missions astronomiques.

Je suis par ailleurs ingénieur mécanicien de formation, et j'ai compris, il y a quelques années déjà, que je pouvais appliquer mes connaissances d'ingénieur à ma pratique de l'astronomie. L'astronomie a cette particularité d'être à la fois un domaine aux limites de la pensée humaine (l'infini, la place de l'Homme dans l'Univers, la peur de l'inconnu, etc.) et un domaine très technique (mécanique, électronique, informatique). J'aime me tenir à ce carrefour de la philosophie, de la technique et de la science.

Je suis co-fondateur et co-gérant avec Olivier Thizy de la société Shelyak Instruments<sup>3</sup> qui développe, fabrique et commercialise une gamme de spectroscopes destinés à l'astronomie amateur et professionnelle. Dans ce cadre, j'ai été fortement impliqué dans la conception de plusieurs instruments : Lhires III, LISA, Alpy 600, eShel, etc.

<sup>2</sup> <http://www.cala.asso.fr/>

<sup>3</sup> <http://www.shelyak.com>

longueur d'onde, 8, 12, 27, 29, 32, 33, 35, 40, 64, 73, 79, 90, 100, 106, 114, 157, 161, 181, 231, 233

## M

méthode

de Bigourdan, 194

de King, 194

magnitude, 53, 63, 64, 121, 123, 203, 215, 223, 236, 240, 244

matériel requis, 21

matière interstellaire, 61, 62, 170, 242

mesure physique, 1, 2, 12, 15, 18, 19, 23, 47, 53, 55, 58, 68, 131, 155, 157-159, 163, 231, 235, 245

mise en station, 25, 97, 193

molécule, 43, 61

## N

nébuleuse, 8, 12, 14, 49, 61, 62, 92, 131  
noir et blanc, 8, 152

## O

objet faible, 21, 22, 54, 65, 130, 228, 244

observations, xi, xii, 3-6

œil humain, 29, 29, 30, 41, 132, 205

offset, 134, 137

onde électromagnétique, 12, 13, 27, 31, 79

opposition de phase, 30

optique géométrique, 71, 73, 74, 84

ordinateur, 21-23

## P

pédagogie, 17, 66, 145, 181

période de rotation, 1, 56, 57

particule (lumière), 31

phénomène physique, 12, 27, 37, 38, 58, 63, 68, 69

photon, 31, 35, 37, 43, 115, 128, 239

plan focal, 85, 88, 89, 91, 98, 117, 210

pointage, 21, 97, 127, 130, 201, 216  
pointer une étoile, 3, 22, 97, 130, 190, 196, 199-201, 209

pouvoir de résolution, 64, 106, 240

prétraitement, 128, 134, 160, 175, 231

prisme, 12, 13, 73, 75, 80, 90, 94, 97, 102, 165

profil

de Planck (ou de corps noir), 33, 34, 37, 46-48, 54, 61, 69, 100, 146, 166, 177

spectral (1D), 9, 14, 34, 136, 155-157, 161, 181

Programmes

BeSS, 6, 18, 67, 69, 168, 232, 233, 245

Pro-Am, 6, 16, 66, 67, 245

publications scientifiques, 17

## Q

quasar, 60

## R

réducteur de focale, 110, 121, 124, 210

réduction de données, 155-157, 160, 175

réflexion, 35, 71-73

réfraction, 71-73, 76, 86, 97, 200

réponse instrumentale, 157, 160, 164, 166, 167, 169, 181, 183, 186, 223, 242

réseau de diffraction, 1, 13, 74, 75, 77, 79-83, 90, 91, 94, 95, 102, 115, 153, 165

résolution, 15, 18, 49, 53, 63, 64, 69, 91, 102, 103, 106, 107, 110, 114, 115, 121, 125, 204, 233, 240

raie(s)

d'émission, 14, 35, 37, 38, 43, 61, 148, 163

d'absorption, 8, 14, 32, 38, 46, 57, 61, 148, 166, 180, 219

de Balmer, 53, 68, 164, 224, 233, 241

rapport  
de masses, 57  
F/D, 84, 108, 109, 117, 121, 124, 148

rencontres, ix, 2, 16, 17

rotation d'étoile, 14, 67, 69

**S**

saturation, 131, 139, 152, 213, 219, 228, 240

seeing, 120, 121, 123, 217

seuils de visualisation, 121, 132, 140, 216, 218, 219, 240

source de lumière, 32, 37, 74, 100, 113, 146, 162

spectre  
2D (image brute), 7  
atomique, 43, 62  
moléculaire, 43

spectroscopie échelle, 101

structure atomique, 35, 43

supernovae, 60, 67

## T

température (d'une étoile), 1, 2, 14, 20, 33, 34, 45-47, 57, 62, 64, 69, 157, 158, 166, 180

temps de pose (ou temps d'exposition), 54, 63, 89, 116, 123, 131, 142, 144, 193, 213, 218, 219, 228, 231, 236, 244

tirage mécanique, 117, 118

transition électronique, 35-38

turbulence atmosphérique, 120

## U

ultraviolet, 27

## V

vitesse  
de déplacement (vitesse radiale), 1, 2, 14, 20, 38-41, 53, 55, 57, 64, 69, 103, 106, 157

de la lumière, 27, 33, 39, 40

héliocentrique, 47

tangentielle, 35