

Table des matières

Table des matières	3
Préface	15
Introduction	21
Le projet - Les auteurs	23
Remerciements	28
1. Histoire de l'observation solaire	29
1.1 Les observations pré-télescopiques	29
1.2 Premières observations à la lunette	30
1.3 L'observation au 19ème siècle	32
1.4 Le 20ème siècle	37
1.5 130 années d'imagerie solaire à haute résolution	40
2. Comprendre notre étoile	41
2.1 Le Soleil calme	41
2.1.1 La surface solaire (photosphère)	41
2.1.2 Granulation	42
2.1.3 Révélation de l'analyse spectrale	44
2.1.4 Chromosphère	45
2.1.5 Couronne	46
2.1.6 Vers l'intérieur du Soleil	47
2.1.7 L'énergie du Soleil	48
2.2 Le Soleil actif	49
2.2.1 Les cycles d'activité	50
2.2.2 Activité solaire : description	50
2.2.3 Activité solaire : quelques explications	55
2.3 Le Soleil, sa vie, son œuvre	57
2.3.1 Vie et mort du Soleil	57
2.3.2 Le Soleil et nous	57
2.3.3 En conclusion	59
3. Observer le Soleil en toute sécurité	61
4. Conditions d'observation	63
4.1 Qu'est-ce que la turbulence ?	64
4.1.1 La turbulence atmosphérique	64
4.1.2 Les différents étages de turbulence	64
4.1.3 Qualité d'image, seeing et paramètre de Fried	65
4.1.3.1 Les effets de la turbulence sur les images des étoiles	66
4.1.3.2 Les effets de la turbulence sur les images du Soleil	67
4.1.3.3 Seeing, longueur d'onde, hauteur du Soleil et temps de cohérence	68

4.2 Quel diamètre pour l'observation du Soleil ?	69
4.2.1 Quel diamètre pour l'imagerie ?	69
4.2.2 Quel diamètre pour l'observation visuelle ?	71
4.3 Turbulence locale et turbulence instrumentale	71
4.3.1 La turbulence locale et le choix du site d'observation	71
4.3.1.1 La nature du sol	71
4.3.1.2 Influence du vent au sol	72
4.3.1.3 Influence de la hauteur de l'instrument	73
4.3.1.4 Observer au bord d'une étendue d'eau	74
4.3.1.5 Observer en montagne	75
4.3.1.6 Influence de la couverture nuageuse	75
4.3.2 La turbulence liée à l'abri	75
4.3.2.1 La coupole	75
4.3.2.2 L'abri ouvrant	76
4.3.3 La turbulence instrumentale	76
4.4 La variation de la turbulence au cours de la journée : quand observer ?	77
4.5 La mesure du seeing en temps réel par SSM	78
4.5.1 Scintillation des étoiles, des planètes et du Soleil	78
4.5.2 Le Solar Scintillation Monitor et son utilisation par les amateurs	79
4.5.2.1 Recherche et comparaison de sites d'observation solaire	79
4.5.2.2 Optimisation d'un site d'observation solaire	79
4.5.2.3 Déclenchement automatique des acquisitions	79
4.5.2.4 Mise en œuvre et limites du SSM	80
5. Lunettes et télescopes pour l'observation solaire	81
5.1 Introduction	81
5.2 Les principales formules optiques	81
5.2.1 La lunette astronomique	81
5.2.1.1 Caractéristiques optiques	81
5.2.1.2 Au bilan pour l'observation solaire	84
5.2.2 Le télescope de Newton	85
5.2.2.1 Principe	85
5.2.2.2 Caractéristiques optiques	85
5.2.2.3 Au bilan pour l'observation du Soleil	86
5.2.3 Le télescope de Schmidt-Cassegrain	86
5.2.3.1 Principe	86
5.2.3.2 Caractéristiques optiques de la version "classique"	86
5.2.3.3 Caractéristiques optiques des versions "améliorées"	88
5.2.3.4 Aspects mécaniques	88
5.2.3.5 Au bilan pour l'observation solaire	89
5.2.4 Le télescope de Dall-Kirkham	89
5.2.4.1 Principe	89
5.2.4.2 Caractéristiques optiques	89
5.2.4.3 Aspects mécaniques	89
5.2.4.4 Au bilan pour l'observation solaire	89
5.2.5 Le télescope Cassegrain classique	90
5.2.5.1 Principe	90
5.2.5.2 Performances optiques	90
5.2.5.3 Au bilan pour l'observation solaire	90
5.2.6 Le télescope de Gregory	90
5.2.7 Le télescope de Ritchey-Chrétien	90
5.2.7.1 Principe	90
5.2.7.2 Performances	91
5.2.7.3 Au bilan pour l'observation solaire	91
5.2.8 Le télescope de Maksutov – Cassegrain	91
5.2.8.1 Principe	91
5.2.8.2 Performances	91
5.2.8.3 Au bilan pour l'observation solaire	92
5.3 Résolution et diamètre	92
5.4 Quels critères de qualité pour une optique haute résolution ?	94
5.4.1 Tolérance pour l'instrument complet	94
5.4.2 Tolérance de surface pour les filtres placés en position interne	94

5.4.3 Tolérance de surface pour le miroir à 45° d'un télescope de Newton	95
5.4.4 Longueur d'onde et précision géométrique de la surface d'un miroir	96
5.4.5 Cumul des erreurs des différents éléments optiques d'un télescope	96
5.5 Les effets de l'obstruction	96
5.5.1 L'obstruction centrale	96
5.5.1.1 Diffraction par l'obstruction centrale	96
5.5.1.2 Influence de l'obstruction centrale pour différents diamètres d'instruments	98
5.5.1.3 Conclusion sur l'influence de l'obstruction centrale	98
5.5.2 Diffraction par les cales d'épaisseur d'un étalon de Fabry-Perot	98
5.5.3 Diffraction par sous-pupilles	99
5.5.4 Diffraction par les branches de l'araignée	99
5.6 Collimation et star testing	99
5.6.1 La collimation	99
5.6.2 Principe du star testing	100
5.6.2.1 Astigmatisme	102
5.6.2.2 Trefoil	102
5.6.2.3 Aberration de sphéricité	102
5.7 Annexe : complément sur l'erreur sur le front d'onde	103
6. Observation de la photosphère	105
6.1 Introduction	105
6.2 Quel instrument pour l'observation de la photosphère ?	105
6.2.1 L'observation de la photosphère ... c'est simple !	105
6.2.2 Réfracteur ou réflecteur ?	105
6.2.3 Petit ou gros diamètre ?	105
6.2.4 Échauffement des lentilles : un danger ou non ?	106
6.2.5 Au bilan, quel instrument ?	106
6.3 Les structures visibles sur la photosphère	106
6.3.1 Les détails visibles selon le diamètre de l'instrument	106
6.3.2 Le bestiaire solaire en lumière blanche : taches, pores, points ombrés, etc.	107
6.3.2.1 Taches, points ombrés et grains de pénombre	107
6.3.2.2 Les ponts de lumière	109
6.3.2.3 Un anneau brillant autour des taches ?	109
6.3.2.4 La couleur des taches	110
6.3.2.5 L'effet Wilson	112
6.3.2.6 Les pores	115
6.3.2.7 La granulation	115
6.3.2.8 Les points brillants intergranulaires	115
6.3.2.9 Les micropores noirs	116
6.3.2.10 Les plages faculaires et les facules	116
6.3.2.11 La déformation de la granulation à proximité des taches ou des pores	117
6.4 L'observation par projection oculaire	118
6.4.1 L'écran et son orientation	118
6.4.2 Calcul de la taille du Soleil sur l'écran	119
6.4.3 Le Solarscope™	119
6.4.4 Le SunGun	120
6.4.5 Le Solar Projection Eyepiece	120
6.5 Les filtres pleine ouverture	121
6.5.1 Les filtres en "verre"	121
6.5.2 Les filtres en feuille	121
6.5.2.1 Le choix de la densité	121
6.5.2.2 Les limites des filtres en feuille	124
6.6 Hélioscopes et télescopes à miroir non aluminé	125
6.6.1 Introduction	125
6.6.2 Quelques rappels d'optique	125
6.6.3 L'hélioscope à prisme	126
6.6.3.1 Le principe de l'hélioscope à prisme de Herschel	126
6.6.3.2 L'hélioscope Lacerta™ avec angle de Brewster	127
6.6.3.3 L'hélioscope modifié H α	127

6.6.3.4 Quel diamètre pour le coulant de l'hélioscope ?	128
6.6.3.5 Le faisceau de sortie de l'hélioscope	128
6.6.4 Les télescopes solaires à miroir non aluminé	129
6.6.4.1 Comment faire ?	129
6.6.4.2 Pour quels types de télescope ?	129
6.6.5 Quel grossissement pour avoir le Soleil en entier ?	130
6.7 Les filtres complémentaires	130
6.7.1 Effet de la couleur du filtre sur la résolution théorique des images	130
6.7.2 Effet de la couleur du filtre sur la performance optique de l'instrument	131
6.7.3 Effet de la couleur du filtre sur le seeing	132
6.7.4 Effet de la couleur du filtre sur la dispersion atmosphérique	132
6.7.5 Effet de la couleur du filtre sur le contraste des images	133
6.7.6 Les différents types de filtres de couleur	133
6.7.7 Quelques filtres spécialisés pour l'observation de la photosphère	134
6.7.7.1 Les filtres continuum	134
6.7.7.2 Le filtre bande G à 430,5 nm	135
6.7.7.3 Les filtres proche UV (388 à 396 nm)	136
6.7.7.4 Le filtre TiO à 706 nm	137
6.7.8 Au bilan, quels filtres pour l'observation visuelle ?	137
6.7.9 Au bilan, quels filtres pour l'imagerie ?	138
6.8 Annexes	138
6.8.1 Densité et transmission	138
6.8.2 La polarisation de la lumière	139
6.8.3 Transmission des filtres neutres ou polarisants dans l'infrarouge	140
6.8.4 Autre variante de l'hélioscope à prisme	141
6.8.5 Influence de la longueur d'onde du filtre sur les images haute résolution de la granulation ...	141
6.8.6 Influence de la longueur d'onde du filtre sur la détection des points brillants intergranulaires	141
7. Observation de la chromosphère	147
7.1 Introduction	147
7.2 Les couches de la chromosphère visibles en Hα et en Ca II	147
7.3 L'observation de la chromosphère en Ca II	148
7.3.1 Les raies Ca II K et H	148
7.3.2 Que voit-on avec un filtre Ca II ?	149
7.3.2.1 Les taches solaires	149
7.3.2.2 Les ponts de lumière	149
7.3.2.3 La granulation inverse	149
7.3.2.4 Le réseau chromosphérique	152
7.3.2.5 Les plages	152
7.3.2.6 Les éruptions	155
7.3.2.7 La frange chromosphérique	155
7.3.2.8 Les protubérances	155
7.3.2.9 Influence de la largeur du filtre sur la couche observée	155
7.3.2.10 Influence de la largeur du filtre Ca II sur la visibilité des filaments sur le disque solaire	157
7.3.2.11 Le double stack en Ca II ?	159
7.3.2.12 Visibilité des fibrilles dans la raie Ca II	159
7.3.2.13 Correspondance entre les points brillants intergranulaires et en Ca II	162
7.3.3 Instruments et filtres pour l'observation en Ca II	164
7.3.3.1 L'offre commerciale	164
7.3.3.2 La bande passante du filtre	164
7.3.3.3 Rapport F/D à utiliser	164
7.3.3.4 Filtre ERF et diamètre maximal utilisable	164
7.3.3.5 Quelle résolution et quel diamètre pour le Ca II ?	166
7.3.3.6 Performance des lunettes et des lentilles de Barlow dans le proche UV	166
7.3.3.7 Utilisation d'un filtre Ca II sur un télescope à miroir ?	166
7.4 L'observation de la chromosphère en Hα.....	167
7.4.1 Que voit-on avec un filtre H α ?	168
7.4.1.1 Visibilité des détails en fonction du diamètre	168
7.4.1.2 Les principales structures observables	173
7.4.1.3 Influence de la largeur de la bande passante du filtre	180
7.4.1.4 L'observation au centre ou dans les ailes de la raie H α	181

7.4.2 Instruments et filtres pour l'observation en H α	182
7.4.2.1 Les composants de base de la filtration	182
7.4.2.2 Les trois principaux types de montages	182
7.4.2.3 L'offre commerciale	184
7.4.2.4 Deux variantes de montage imaginées par les amateurs	186
7.4.3 L'étalon de Fabry-Perot et son utilisation	186
7.4.3.1 Principe de fonctionnement du Fabry-Perot	187
7.4.3.2 Anatomie d'un filtre H α avec étalon à lame de mica	189
7.4.3.3 Anatomie d'un filtre H α avec étalon à lame d'air	190
7.4.3.4 Le montage en "double stack"	190
7.4.3.5 Le montage en "triple stack"	193
7.4.3.6 Quel montage optique pour l'étalon : collimateur, télécentrique, ou Barlow ?	193
7.4.3.7 Le montage de l'étalon en faisceau collimaté (en position frontale ou en position interne)	193
7.4.3.8 Le montage de l'étalon en position arrière dans un faisceau télécentrique	202
7.4.3.9 Montage de l'étalon derrière une lentille de Barlow (cas d'une lunette)	205
7.4.3.10 Étalons à lame d'air ou à lame de mica, quel choix au final ?	207
7.4.4 Et le filtre de Lyot ?	209
7.4.5 Le filtre de rejet d'énergie (ERF)	209
7.4.5.1 Les principaux filtres disponibles sur le marché	209
7.4.5.2 Traitement ERF sur lame de Schmidt ou sur miroir	211
7.4.5.3 Flux transmis par le filtre ERF	213
7.4.5.4 Réglage de l'inclinaison du filtre ERF	214
7.4.5.5 Filtre ERF en position interne : quel diamètre ?	215
7.4.6 Le filtre de blocage (BF)	215
7.4.7 Le filtre ITF	216
7.4.8 Quelques conseils pratiques	216
7.4.8.1 Comment régler le filtre sur le centre de la raie H α ?	216
7.4.8.2 En imagerie : comment éliminer les anneaux de Newton et les franges d'interférence ?	218
7.4.8.3 Étalons à lame de mica : utilisation par grand froid ou par forte température	220
7.4.8.4 Étalons à lame de mica et caméras à petits pixels	220
7.4.8.5 En imagerie : uniformité et orientation du filtre	220
7.4.8.6 Montage double stack et reflets	220
7.4.8.7 Conservation et durée de vie des filtres solaires H α	220
7.5 Annexe 1 : les formules du Fabry-Perot	221
7.5.1 Les formules de base	221
7.5.1.1 Considérations pratiques	222
7.5.1.2 Décalage de la longueur d'onde centrale (CWL) en fonction de l'inclinaison	222
7.5.1.3 Variation de la bande passante (FWHM) en fonction de l'inclinaison du faisceau	222
7.5.2 Montage en faisceau convergent	222
7.5.2.1 Les formules en faisceau convergent et avec angle de champ	222
7.5.2.2 Le montage télécentrique en détail	222
7.5.2.3 Montage télécentrique sous-optimal	224
7.5.2.4 Calcul de l'angle de champ en sortie d'une Barlow montée sur une lunette	224
7.5.2.5 Calcul de l'angle de champ au foyer d'un télescope Cassegrain	225
7.6 Annexe 2 : mesures de la transmission des différents éléments d'un filtre F-P Coronado	227
7.7 Annexe 3 : la raie He	228
7.8 Annexe 4 : hauteurs observées en Ca K dans les zones de Soleil calme et dans les plages	228
7.9 Annexe 5 : influence de la longueur d'onde centrale du filtre sur les images en Ca H	228
7.10 Annexe 6 : influence de la longueur d'onde centrale du filtre sur les images en Hα	228
7.11 Annexe 7 : sweet spot et banding	230
7.12 Annexe 8 : test de la qualité des étalons	231
7.12.1 Mesure en lumière diffuse avec une lampe H α	231
7.12.2 Mesure avec un spectroscopie	233
7.12.3 Test d'un étalon en faisceau collimaté et avec une lampe H α	234
7.12.4 Test d'un étalon en montage télécentrique avec le Soleil comme source de lumière	235
7.13 Annexe 9 : profil du filtre bloqueur et nombre de cavités	235
8. Le coronographe	237
8.1 Histoire du coronographe	237
8.2 Principe de fonctionnement	238
8.2.1 Deux types de coronographes	238
8.2.2 Principe de fonctionnement du coronographe	240

8.2.3 Observation de la couronne solaire	240
8.2.3.1 La diffusion de la lumière par l'atmosphère	240
8.2.3.2 La diffusion de la lumière par l'optique du coronographe	241
8.2.3.3 Observation de la couronne solaire par les amateurs	244
8.2.3.4 Sources d'images de la basse couronne solaire	246
8.3 Le coronographe en détail	246
8.3.1 Les cônes occulteurs	246
8.3.2 Le filtre H α	247
8.3.3 Les fabricants	248
8.3.4 Mise en œuvre du coronographe	249
8.4 La réalisation d'un coronographe	250
8.5 Annexe 1 : diffraction, diaphragme de Lyot et apodisation	250
8.5.1 La diffraction de la lumière par l'objectif	251
8.5.2 Diaphragme de Lyot et apodisation	251
8.6 Annexe 2 : position des différents éléments optiques à l'intérieur du coronographe	253
8.7 Annexe 3 : observation des protubérances dans d'autres bandes que Hα	255
8.8 Annexe 4 : caractéristiques du coronographe de George Hripcsak	256
9. Réalisations d'amateurs	257
9.1 Introduction	257
9.2 Le Maksutov solaire de 127 mm de Norma Desprez	257
9.3 Le télescope solaire de 210 mm de François Rouvière	259
9.4 Le télescope solaire de 300 mm de Christian Viladrich	261
9.4.1 Objectifs et cahier des charges	261
9.4.2 Choix du design optique	262
9.4.3 Miroir primaire aluminé ou non ?	263
9.4.4 Choix du matériau pour le miroir primaire	264
9.4.5 Face arrière du miroir primaire polie ou dépolie?	265
9.4.6 Aspects thermiques et minimisation de la turbulence interne	266
9.4.6.1 Quantité de chaleur reçue au foyer primaire	266
9.4.6.2 Échauffement du miroir primaire	266
9.4.6.3 Autres aspects thermiques et maîtrise de la turbulence interne	266
9.4.7 Lumière parasite	267
9.4.8 Miroir secondaire et araignée	267
9.4.9 Montage optique au foyer	267
9.4.10 Collimation	268
9.4.11 Quel bilan après huit ans d'utilisation?	268
9.5 Le réfracto-rélecteur à lentille asphérique de 175 mm de François Rouvière	272
9.6 La lunette solaire de 230 mm de Jean-Pierre Brahic	273
9.6.1 Le projet	273
9.6.2 Mais au fait ... que voit-on à travers une 230 mm solaire?	276
9.6.3 Bilan après huit années d'utilisation	278
9.6.4 Le coût du rêve ?	278
9.6.5 Et après ?	279
9.7 Le coronographe de 225 mm de Philippe Tosi	280
9.7.1 L'optique	281
9.7.1.1 Calcul et réalisation de la lentille asphérique de 225 mm	281
9.7.1.2 La lentille de champ	281
9.7.1.3 Objectif de transfert et diaphragme de Lyot	281
9.7.1.4 Le filtre H α	281
9.7.2 Le tube	281
9.7.3 Le cône occulteur	284
9.7.4 La monture	284
9.7.5 Les résultats	284
9.8 L'Unigraph 225 mm de Harald Paleske	286
9.8.1 Les premiers développements	286
9.8.2 L'Unigraph 225/2600 mm FH pour l'observation solaire H α	286
9.8.3 Conclusion	288

9.9 La lunette double stack Hα de 140 mm de Bob Yoesle	288
9.9.1 Le début d'une passion	288
9.9.2 Premiers pas en H α	288
9.9.3 Nirvana solaire ?	291
9.9.4 La quête continue	292
9.9.5 Le réfracteur SM140/SM90	293
9.9.6 Reconstruction de la lunette SM140/SM90	293
9.9.7 Première lumière avec la lunette SM140/SM90 reconstruite	296
9.9.8 Au travail de nouveau	298
9.9.9 Le succès enfin !	299
10. Spectrohéliographie	301
10.1 Introduction	301
10.2 Les raies Hα et Ca II : c'est quoi ?	301
10.2.1 Pourquoi des raies ?	301
10.2.2 La raie de l'hydrogène H α	302
10.2.3 Les raies du calcium ionisé une fois Ca II H et K.....	302
10.3 Sol'Ex ou la spectrohéliographie pour tous (Christian Buil).....	303
10.3.1 La spectrohéliographie : l'état des lieux	303
10.3.2 Pourquoi Sol'Ex ?	304
10.3.3 L'intérieur du Sol'Ex	304
10.3.4 Le montage de Sol'Ex	306
10.3.5 Quel imageur utiliser ?	308
10.3.6 L'utilisation	311
10.3.7 Le traitement	312
10.3.8 Les observations	313
10.4 Le spectrohéliographe de Jean-Jacques Poupeau	317
10.4.1 Introduction	317
10.4.2 Principe de l'appareillage	317
10.4.3 Schéma optique	318
10.4.4 Réalisation	318
10.4.4.1 Partie spectrographe	318
10.4.4.2 Télescope imageur solaire de 98 mm	319
10.4.4.3 Monture équatoriale	319
10.4.4.4 Détails de l'appareil assemblé	319
10.4.5 Synthèse de l'image au moyen d'une caméra vidéo	320
10.4.6 Traitement des prises de vues des spectres pour réaliser les spectrohéliogrammes	320
10.4.7 Résultats obtenus	323
10.5 Études solaires avec un spectrohéliographe d'amateur (Peter Zetner)	323
10.5.1 Introduction	324
10.5.2 Mesure de la rotation différentielle solaire	324
10.5.3 Le dopplergramme	328
10.5.4 Étude spectroscopique d'un phénomène solaire en mouvement rapide	331
10.5.5 Mesure de la température d'un filament	331
10.5.6 Le champ magnétique d'une tache solaire	335
10.5.7 En conclusion	338
10.6 Annexe : un spectrographe à grande résolution spatiale	339
11. Acquisition des images	341
11.1 Introduction	341
11.2 La mise en station de jour	341
11.2.1 Pour l'observation visuelle	341
11.2.2 Pour l'imagerie	341
11.3 Focale, champ et réglage de l'échantillonnage	343
11.3.1 Focale, taille du capteur et champ couvert	343
11.3.2 L'échantillonnage	343

11.3.3 Échantillonnage optimal pour la haute résolution	344
11.3.4 Comment régler la valeur de l'échantillonnage : Barlow ou oculaire ?	345
11.3.4.1 La projection oculaire	345
11.3.4.2 L'utilisation d'une lentille de Barlow	346
11.3.5 Comment mesurer l'échantillonnage et la focale résultante de l'instrument ?	349
11.4 La mise au point	349
11.4.1 Quelle tolérance ?	349
11.4.2 Les techniques de mise au point	350
11.5 Le guidage automatique sur le Soleil	351
11.5.1 Guidage par le logiciel d'acquisition	352
11.5.2 Guidage par lunette de guidage	352
11.6 Les capteurs numériques	352
11.6.1 Principales caractéristiques	352
11.6.1.1 Le capteur	353
11.6.1.2 Convertisseur A/N et nombre de bits	356
11.6.1.3 Vitesse de lecture et interface avec le PC	356
11.6.1.4 Transparence du hublot aux UV et à l'IR	356
11.6.2 Quelques notions techniques utiles	356
11.6.2.1 Le bruit	356
11.6.2.2 Le rapport signal sur bruit	357
11.6.2.3 La dynamique	359
11.6.3 Au bilan, quelle caméra numérique pour le solaire ?	359
11.7 Les caméras vidéo et leurs réglages	360
11.7.1 Fenêtrage	360
11.7.2 Nombre de bits d'acquisition	360
11.7.3 Rôle du gain	361
11.7.4 Rôle de l'offset (ou black)	361
11.7.5 Réglage du gain, de l'offset et du temps de pose	361
11.7.6 Cadence de capture	362
11.7.7 Réglage du gamma	362
11.8 L'acquisition avec les caméras vidéo	363
11.8.1 Format du fichier d'acquisition	363
11.8.2 La durée de l'acquisition	363
11.8.3 Les animations	364
11.8.4 Correction du Fixed Pattern Noise et de l'effet de trame des capteurs CMOS	365
11.8.5 Réalisation d'images de flat	365
11.8.6 Le nettoyage du capteur	366
11.8.7 Que faire en cas de reflets ?	366
11.8.8 Limiter l'échauffement de la caméra	366
11.8.9 Le montage mécanique de la caméra	366
11.9 Les APN et leurs réglages	367
11.9.1 Introduction	367
11.9.2 Imagerie du disque solaire	368
11.9.2.1 Imagerie en lumière blanche ou visible	368
11.9.2.2 Imagerie en H α	369
11.9.2.3 Imagerie en Ca K ou H	369
11.9.2.4 Imagerie dans la raie du sodium	369
11.9.3 Imagerie des détails solaires	370
11.9.4 APN en mode vidéo	370
11.9.5 Pilotage de l'APN par le PC	370
11.9.6 Utilisation d'un écran LCD externe en liaison HDMI	372
11.10 Annexe	372
11.10.1 Conversion entre dB et nombre de bits	372
11.10.2 Mesure de la dynamique et du rapport S/B d'une caméra	372
11.10.3 Mesure approximative de la focale d'une lentille de Barlow	373
11.10.4 Vérification de la télécentricité d'une Barlow	374

11.10.5 Quelques logiciels d'acquisition pour caméras vidéo	374
12. Traitement d'images	375
12.1 Le traitement de base : recentrage/tri/addition	376
12.1.1 La fonction de recentrage des images	376
12.1.2 La fonction de tri des images	376
12.1.3 La fonction d'addition des images	377
12.2 AutoStakker! v3	377
12.2.1 Un guide rapide	377
12.2.2 Approfondissement des réglages les plus importants	379
12.2.2.1 Combien d'images additionner ?	379
12.2.2.2 Combien de points d'alignement ?	383
12.2.2.3 Local (AP) ou global (frame) : cas particulier des acquisitions avec une transparence variable	384
12.2.3 AutoStakker! : les paramètres complémentaires	385
12.2.3.1 Le prétraitement : dark et flat	385
12.2.3.2 Traitement en série de plusieurs fichiers	385
12.2.3.3 Limit frames	385
12.2.3.4 Navigation dans le fichier vidéo	386
12.2.3.5 Suppression d'une ou plusieurs images de la vidéo	386
12.2.3.6 Taille maximale des images	386
12.2.3.7 Noise robust	386
12.2.3.8 Sharpen	386
12.2.3.9 Drizzle et redimensionnement des images	386
12.2.3.10 Advanced/Experimental features	387
12.3 Le renforcement des micro-contrastes	387
12.3.1 La correction des reflets	387
12.3.2 Les différents niveaux d'échelles de détails dans une image	387
12.3.3 Traitement par masque flou	388
12.3.3.1 Exemple de traitement par masque flou en lumière visible	389
12.3.3.2 Exemple de traitement par masque flou en H α	390
12.3.4 Le traitement par ondelettes	390
12.3.4.1 Exemple de traitement par ondelettes d'une image en bande G	391
12.3.4.2 Exemple de traitement par ondelettes d'une image en H α	391
12.3.5 Le traitement par déconvolution	391
12.3.6 Artéfacts ou vrais détails, quelle limite au traitement ?	393
12.3.6.1 Artéfacts en lumière visible	396
12.3.6.2 Artéfacts en H α	396
12.3.6.3 Artéfacts en Ca II H et K	396
12.4 Traitements locaux différenciés	398
12.4.1 Mise en évidence des détails dans l'ombre des taches	398
12.4.2 Harmonisation entre disque solaire et protubérances	399
12.4.3 Effet "coronographe"	400
12.5 Finalisation des images (gamma, seuils de visualisation, colorisation)	402
12.5.1 Gamma et seuils de visualisation	402
12.5.1.1 Protubérances en H α	402
12.5.1.2 Tache solaire en H α	402
12.5.2 La colorisation des images	402
12.6 Les mosaïques	404
12.7 Les animations	409
12.7.1 Principe de la méthode	409
12.7.2 Alignement des images	409
12.7.2.1 Alignement des images avec ImPPG	409
12.7.2.2 Alignement des images dans RegiStax 6	409
12.7.3 Création du fichier animation	409
12.7.3.1 Création du fichier animation avec PIPP	410
12.7.3.2 Création du fichier animation avec Photoshop	411
12.7.4 La conversion du fichier vidéo du format AVI au format MP4	413
12.8 Traitement automatique dans Photoshop d'une série d'images de protubérances	414
12.9 Quelques logiciels et utilitaires intéressants	415
12.9.1 AstroSurface	415

12.9.2 ImPPG	415
12.9.3 PIPP	415
12.9.4 RegiStax 6	415
12.9.5 SER Player	415
12.10 Annexe : introduction à la gestion des couleurs	416
13. Radioastronomie solaire d'amateur	419
13.1 Introduction	419
13.2 Qu'est-ce que la radioastronomie ?	419
13.2.1 Le spectre électromagnétique	419
13.2.2 Le radiotélescope	420
13.2.3 L'antenne dipolaire	420
13.2.4 L'antenne parabolique	421
13.2.5 Puissance reçue par un radiotélescope	422
13.2.6 Interféromètres et réseaux d'antennes	424
13.3 L'activité solaire aux longueurs d'onde radio	425
13.3.1 Les mécanismes d'émission radio	425
13.3.1.1 Mécanisme d'émission thermique	425
13.3.1.2 Mécanismes d'émission non-thermiques	426
13.3.1.3 Aperçu du spectre radio solaire	426
13.3.2 Émission radio du Soleil actif	427
13.3.2.1 La composante lentement variable	427
13.3.2.2 Les sursauts radio	427
13.4 Lucie : un radiotélescope solaire pour le radioastronome débutant	430
13.4.1 Les différents éléments du radiotélescope Lucie	431
13.4.1.1 L'antenne	431
13.4.1.2 La tête de réception	431
13.4.1.3 Le récepteur (Satellite Finder)	431
13.4.1.4 Le câble coaxial	431
13.4.1.5 Le système d'enregistrement	431
13.4.2 Construction du radiotélescope Lucie	431
13.4.2.1 L'équipement nécessaire	431
13.4.2.2 Le montage	431
13.4.2.3 Interférence des fréquences radio	433
13.4.2.4 Compléments sur le Satellite Finder	433
13.4.3 Mesure de la température de brillance du Soleil	433
13.4.3.1 Réalisation de l'observation	434
13.4.3.2 Interprétation des mesures	434
13.4.3.3 Mesure de la température de brillance du Soleil	436
13.4.4 Les éclipses de Soleil	436
13.4.5 Lucie et ses cousins	436
13.5 L'observation radio solaire à d'autres longueurs d'onde	437
13.6 Conclusion	438
14. Les éclipses de Soleil	439
14.1 Qu'est-ce qu'une éclipse de Soleil ?	439
14.1.1 Le système Terre-Lune-Soleil	439
14.1.2 Le saros	439
14.1.3 Les différentes éclipses de Soleil : partielle, annulaire, hybride, totale	440
14.1.4 Les points de contact au cours d'une éclipse	440
14.2 L'éclipse partielle	440
14.2.1 Observation visuelle	440
14.2.2 Photographier l'éclipse	441
14.3 L'éclipse annulaire	441
14.3.1 Observation visuelle	441
14.3.2 Photographier l'éclipse	441
14.4 L'éclipse hybride	442
14.5 L'éclipse totale	442
14.5.1 Vitesse de l'ombre	442

14.5.2	Quelle est la durée d'une éclipse totale ?	442
14.5.3	Observation visuelle	442
14.5.4	Photographier l'éclipse	445
14.5.4.1	Temps de pose indicatifs	448
14.5.4.2	Quelques conseils pour réaliser de belles images	449
14.5.5	Réaliser une vidéo de l'éclipse	450
14.5.6	L'observation visuelle de l'éclipse avec un instrument	450
14.5.7	Un dernier conseil	451
14.6	Observer une éclipse depuis un avion ou un bateau	451
14.7	Quelques dates d'éclipses solaires	453
14.8	La couronne solaire : forme, structure et luminosité	453
14.9	Observation détaillée de la totalité	458
14.9.1	Observation des étoiles et de la lumière cendrée	458
14.9.2	Observation de la basse couronne à haute résolution	458
14.9.3	Quelques expériences plus techniques	464
14.9.3.1	Le spectre éclair	464
14.9.3.2	L'imagerie de la couronne K en lumière polarisée	464
14.10	Traitement des images de la totalité	464
14.10.1	Traitement avec Photoshop	465
14.10.2	Autres méthodes de traitement	468
14.10.2.1	Recentrage des images sur le Soleil	469
14.10.2.2	Correction du gradient radial de luminosité	470
14.11	Annexe : logiciels de pilotage de l'acquisition	472
15.	Le dessin, une école de l'observation	473
15.1	Le croquis comme école de l'observation (Norma Desprez)	473
15.1.1	Pourquoi dessiner ?	473
15.1.2	Un peu de matériel pour débiter	473
15.1.3	Quel instrument utiliser ?	474
15.1.4	Oculaires et filtres	474
15.1.5	Une méthode parmi d'autres	475
15.1.6	Et maintenant en H α ?	475
15.1.7	Pour aller plus loin	475
15.2	L'art du dessin (Fred Burgeot)	475
15.2.1	Dessiner la surface visible en lumière blanche	476
15.2.2	Dessiner le Soleil dans la longueur d'onde du H α	478
15.3	Les dessins de Marios Ioannou	481
16.	Étude et suivi du Soleil par l'amateur	483
16.1	Introduction	483
16.2	Orientation du Soleil sur les images et les dessins	483
16.2.1	Orientation du Soleil dans un instrument	483
16.2.2	Orientation de l'image par rapport au système de coordonnées célestes	484
16.2.3	Les coordonnées héliographiques	484
16.2.4	Les logiciels d'aide à l'orientation	485
16.2.5	Grilles et règles de mesure diverses	486
16.2.6	Liens utiles	486
16.3	Compter les taches : le nombre de Wolf	486
16.3.1	Le programme	486
16.3.2	Liens utiles	487
16.4	Relever la position des taches	487
16.4.1	Le programme	487
16.4.2	Liens utiles	488
16.5	Suivi des protubérances et autres phénomènes en Hα	489
16.5.1	Le programme	489
16.5.2	Liens utiles	489
16.6	Détection des ondes de Moreton	489

16.6.1 Le programme	489
16.6.2 Liens utiles	490
16.7 Détection de comètes à partir des images de SOHO/LASCO et STEREO/SECCHI	490
16.7.1 Le programme	490
16.7.2 Lien utile	490
16.8 Campagne Pro/Am Solar Orbiter	490
16.8.1 Le programme	490
16.8.2 Lien utile	490
16.9 Mesure de la variation de l'ovalisation de la chromosphère	490
16.9.1 Le programme	490
16.9.2 Liens utiles	491
16.10 Programme F-chroma	491
16.10.1 Le programme	491
16.10.2 Lien utile	491
16.11 Les Observateurs Associés du Pic du Midi	491
16.11.1 Introduction	491
16.11.2 L'association des Observateurs Associés	491
16.11.3 Le matériel en service	491
16.11.4 Le fonctionnement par mission	492
16.11.5 Résultats obtenus	492
16.11.6 Liens utiles	492
17. Le Soleil sur Internet	495
17.1 Introduction	495
17.2 Éphémérides solaires	495
17.3 Les éclipses de Soleil	495
17.4 Suivi de l'activité de la photosphère	496
17.5 Suivi de l'activité de la chromosphère	496
17.5.1 Observatoires solaires au sol	496
17.5.2 Observatoires solaires à bord de satellites	498
17.6 Sites Internet de synthèse	500
17.7 Sites Internet rassemblant les observations d'amateurs	501
17.8 Les forums spécialisés dans l'observation solaire	502
Documentation	503
1. Livres en langue française	503
2. Livres en langue anglaise	503
Bibliographie	505
Chapitre 1 - Histoire de l'observation solaire	505
Chapitre 2 - Comprendre notre étoile	505
Chapitre 3 - Observer le Soleil en toute sécurité	506
Chapitre 4 - Conditions d'observation	506
Chapitre 5 - Lunettes et télescopes pour l'observation solaire	506
Chapitre 6 - Observation de la photosphère	506
Chapitre 7 - Observation de la chromosphère	507
Chapitre 8 - Le coronographe	509
Chapitre 9 - Réalisations d'amateurs	510
Chapitre 10 - Spectrohéliographie	510
Chapitre 11 - Acquisition des images	512
Chapitre 13 - Radioastronomie solaire d'amateur	512
Chapitre 14 - Les éclipses de Soleil	512
Chapitre 15 - Le dessin, une école de l'observation	513
Chapitre 16 - Étude et suivi du Soleil par l'amateur	513
Le Soleil en quelques chiffres	515
Les plus grands télescopes solaires professionnels	517
Fournisseurs et fabricants de filtres	518
Glossaire	519
Index	524