

L'essor de la spectrohéliographie amateur

De l'invention professionnelle (1868) à la communauté Sol'Ex contemporaine

Cédric Champeau

Résumé. La spectrohéliographie amateur est l'imagerie solaire monochromatique pratiquée par des astronomes non professionnels. La technique consiste à reconstruire une image du Soleil dans une raie spectrale précise, en balayant son disque avec la fente d'entrée d'un spectrographe. Pendant près d'un siècle, l'encombrement et le coût des instruments la réservent aux grands observatoires. Elle devient accessible aux amateurs dans les années 1960, avec la version visuelle de l'instrument, le spectrohéloscope. Deux ruptures suivent : les capteurs numériques et l'informatique au tournant des années 2000, puis les instruments compacts à impression 3D diffusés à partir de 2020, dont le plus connu est le Sol'Ex de Christian Buil. Au début des années 2020, la discipline s'est dotée d'une communauté internationale, de logiciels libres, de bases d'images et de collaborations « pro-am » intégrées au suivi scientifique du Soleil. Cet article retrace cette trajectoire, de l'invention professionnelle de l'instrument jusqu'à la production scientifique amateur contemporaine.

Transparence. L'auteur est le développeur de JSol'Ex et de SpectroSolHub, deux projets décrits dans ce document, et un contributeur actif de la communauté présentée. Cette histoire a été rédigée avec un souci de neutralité (en particulier dans la comparaison entre logiciels), les faits ont été vérifiés et les sources primaires privilégiées. Le lecteur est invité à lire les passages concernant l'auteur avec ce recul. Il s'agit d'une synthèse compilée par un membre de la communauté, non d'une étude académique.

1 Contexte : l'invention professionnelle (1868-1932)

L'idée d'observer le Soleil à travers une raie isolée du spectre remonte à 1868. Cette année-là, Jules Janssen et Joseph Norman Lockyer démontrent indépendamment que les protubérances solaires peuvent s'observer en dehors d'une éclipse : il suffit de placer la fente d'un spectroscopie sur le limbe et de centrer l'instrument sur les raies brillantes de l'hydrogène [1]. Cette technique dite « de la fente large » reste limitée à l'observation visuelle de zones restreintes du limbe.

Le spectrohéloscope proprement dit produit une image bidimensionnelle complète du disque solaire dans une raie choisie, par balayage et reconstitution photographique. Il est inventé indépendamment au début des années 1890 par l'Américain George Ellery Hale et le Français Henri Deslandres [2]. Hale construit son premier instrument à l'observatoire Kenwood de Chicago. Deslandres entre à l'Observatoire de Paris en 1889 pour y développer la spectroscopie et obtient en 1892, à partir des idées de Janssen, les premières images monochromatiques de la chromosphère dans les raies H et K du calcium ionisé [2], [3]. En 1897, il installe à Meudon un spectrohéloscope alimenté par sidérostas polaire, et en 1909 fait construire le bâtiment du grand spectrohéloscope qui demeure en service jusqu'au XXI^e siècle [3]. Hale obtient quant à lui en 1908, depuis le Mont Wilson, les premières images dans la raie H α [1].

Deslandres conçoit en réalité dès l'origine deux instruments aux fonctions distinctes [4]. Le premier, le *spectrohéliographe des formes*, balaie le disque en continu pour produire l'image monochromatique décrite plus haut. Le

second, le *spectrohéliographe des vitesses*, procède par pas discrets d'une vingtaine de secondes d'arc et enregistre à chaque pas le profil complet de la raie. Il mesure des vitesses radiales et donne ainsi accès à la dynamique de la photosphère. Cette seconde voie reste active à Meudon jusqu'en 1939. Interrompue par la guerre, elle n'est reprise qu'en 2017, avec un capteur sCMOS rapide qui retrouve, en continu cette fois, le profil de raie en tout point du disque [4].

L'écart de taille entre le grand spectrohéloscope de Meudon et un instrument amateur moderne s'explique par les contraintes du détecteur de l'époque [4]. Conçu pour des plaques photographiques 13 × 18 cm, l'instrument devait agrandir l'image du Soleil à un diamètre de 86 mm au plan focal. Les capteurs CMOS d'aujourd'hui imposent à l'inverse une réduction de focale pour ramener le disque à moins de 11 mm sur le détecteur. À cahier des charges équivalent, un grand spectrohéloscope professionnel construit aujourd'hui serait sensiblement plus compact.

Le spectrohéloscope est inventé par Hale en 1924. C'est la version visuelle de l'instrument : deux fentes oscillantes synchronisées y créent, par persistance rétinienne, une image monochromatique observable directement à l'œil. Il en publie la description et les usages dans quatre articles parus dans l'*Astrophysical Journal* entre 1929 et 1931 [5]. En 1932, Robert R. McMath, à l'observatoire McMath-Hulbert (Michigan), étend le procédé en y adjoignant une caméra cinématographique : son *spectrohéliokinematograph* livre les premiers films de protubérances solaires, et lui vaut, avec ses collaborateurs, la médaille John Price Wetherill [6], [7].

C'est dans la foulée de cette percée que Hale invite explicitement les astronomes non professionnels à participer au suivi du Soleil, qu'il conçoit comme un laboratoire de recherche. La spectrohéliographie amateur prend dès lors sa source dans cette invitation, mais devra attendre plus de trente ans pour devenir techniquement réalisable hors d'une grande institution [1].

2 Premiers spectrohélosopes amateurs (1938-1990)

Avant la Seconde Guerre mondiale, deux Britanniques construisent les premiers spectrohélosopes purement amateurs, en suivant l'architecture de Hale à longue focale et installation fixe : F. J. Sellers en 1938, qui invente un synthétiseur de fentes oscillantes original [8], puis M. A. Ellison en 1940 [9]. Tous deux publient leurs travaux dans le *Journal of the British Astronomical Association* (BAA). En 1958 et 1959, les premiers instruments amateurs apparaissent aux États-Unis avec B. C. Parmenter (Spokane) et W. J. Semerau (New York), ce dernier décrivant son SHS dans plusieurs articles de *Sky & Telescope* entre 1959 et 1962 [10].

Le facteur limitant principal pour les amateurs est alors le réseau de diffraction : un réseau original, gravé mécaniquement, coûte plus de 1 000 dollars de l'époque [10]. La donne change en 1957 avec la commercialisation par Bausch & Lomb de réseaux répliqués par dépôt résineux, conservant 90 % de la résolution théorique mais à environ un dixième du prix [10]. Les réseaux holographiques répliqués, apparus en 1963, prolongent cette évolution. Sans réseau abordable, rien de la spectrohéliographie amateur qui suit n'aurait été possible.

2.1 Fredrick N. Veio (1962-2009)

Une figure centrale de la spectrohéliographie amateur du XX^e siècle est l'Américain Fredrick Nall Veio (Californie, 1930-2022) [11]. Construisant en 1962-1964 un spectrohéloscope compact (lentille de télescope 60 mm / 2,7 m de focale, spectroscopie Littrow 1,9 m, réseau Bausch & Lomb 1200 tr/mm) pour environ 300 dollars, il en publie le plan dans *Sky & Telescope* de janvier 1969, puis dans le *Journal of the BAA* en 1975 [10], [12]. Sa principale innovation est un synthétiseur à disque de verre tournant de 100 mm de diamètre, peint en noir et percé de 24 fentes de 125 μm définissant une bande passante de 0,5 Å en H α , beaucoup plus simple à fabriquer que les fentes oscillantes de Hale [10].

À partir de 1972, Veio diffuse une brochure d'auto-construction (initialement 56 pages, étendue à 120 pages vers 2000) dont plus de 2 000 exemplaires circulent à travers le monde [10]. Pendant plus de trente ans (1967-1998), il entretient une correspondance estimée à 9 000 lettres avec des amateurs étrangers, travail patient d'évangélisation que le passage à Internet (1999, création d'un forum Yahoo dédié) accélère ensuite considérablement [10]. Toshio Ohnishi (Japon) puis Mike Rushford (Californie) et J. Christopher Westland (Hong Kong) hé-

bergent successivement la version libre et numérique du livre [10].

Veio recense, dans ses « histoires de la spectrohéliographie amateur » de 2009-2010, l'apparition régulière de nouvelles constructions à travers les années 1970-1990 : Theodore van Poecke (Pays-Bas, 1971), Donald Mruk (Massachusetts, 1971, à 17 ans), Achim Gruenberg et Ulrich Fritz (Allemagne, 1975), Brian G. W. Manning (Angleterre, 1975, inventeur du synthétiseur Manning sans vibrations et premier amateur à fabriquer un réseau original de qualité), Toshio Ohnishi (Japon, 1975, inventeur vers 1990 du synthétiseur Ohnishi, à fentes oscillantes à extrémités repliées), Heinrich Beeker (Allemagne, 1980, conception originale de cœlostate), Jeffrey Young (Californie, 1982, miroir oscillant remplaçant les prismes d'Anderson), Henry Hatfield (Angleterre, 1985), Gote Flodqvist (Suède, 1994), Rogerio Marcon (Brésil, 1992) [10]. Le premier amateur européen à construire une version compacte et transportable est van Poecke, qui hérite des optiques d'origine de Veio [10].

2.2 Premiers exploits scientifiques (1975-2006)

Plusieurs résultats scientifiquement significatifs sont obtenus par des amateurs dans cette période. Vers 1975, Brian Manning réalise l'une des premières observations amateurs documentées du décalage Doppler des raies du sodium sur les bords du limbe solaire, démonstration directe de la rotation différentielle, avec un réseau utilisé au cinquième ordre et un film Kodak 2415 à grain fin [10], [13]. En 1999, Fredrick Veio et Leonard Higgins (Napa, Californie) observent visuellement, pour la première fois à notre connaissance, l'effet Zeeman dans une tache solaire avec un spectrohéloscope amateur. Les identifications spectrales sont confirmées en 2002-2003 [10]. L'article correspondant paraît dans le *Journal of the BAA* en février 2006, à notre connaissance la première publication scientifique d'amateurs sur l'effet Zeeman solaire [14].

3 La révolution numérique (1990-2016)

Le passage de l'imagerie argentique à la détection électronique modifie en profondeur la pratique. Deux voies coexistent à la fin des années 1990 : la barrette CCD linéaire et la webcam.

3.1 L'approche linéaire : Philippe Rousselle

Le Français Philippe Rousselle (Metz) réalise ses premiers spectrohélogrammes au tout début des années 1990 (vers 1992, un siècle après les premières images de Deslandres) [15]. Son montage initial associe une lunette, un capteur CCD linéaire Thomson et un micro-ordinateur Atari 520. Il pointe d'abord le Soleil depuis la fenêtre de son appartement, avant d'installer l'instrument dans son garage. L'objectif lui est vendu par Fred Veio, avec qui il correspond plusieurs années. Le principe est de laisser l'image du Soleil dériver devant la fente d'entrée : un ordinateur enregistre chaque ligne au passage et reconstitue l'image complète. Il est, selon Veio, le premier amateur à utiliser un détecteur linéaire, et atteint une résolution de l'ordre de 2" sur le disque solaire [10]. Rousselle développe aussi

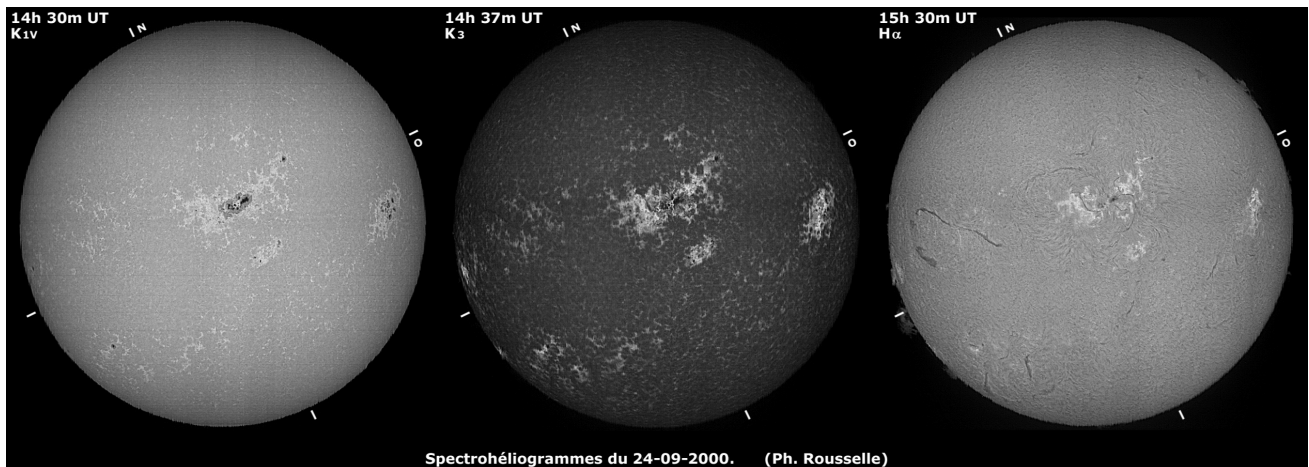


Fig. 1. – Trois spectrohéliogrammes du Soleil obtenus le 24 septembre 2000 par Philippe Rousselle, dans les raies K1v, K3 et H α .

ses propres logiciels de traitement (images 8 bits, cartes Doppler, mesure de la position des structures, cartes synoptiques) [15]. Son site web, ouvert vers 2001-2002, sert de plate-forme de documentation et d'archive solaire continue jusqu'au début des années 2020, et héberge aussi la version libre du livre de Veio ainsi qu'un atlas des longueurs d'onde de Charlotte Moore [16]. Plusieurs amateurs lui emboîtent le pas et construisent leur propre instrument, dont Daniel Defourneau, les Rondi et Jean-Jacques Poupeau [15]. En 2003, Rousselle confirme avec son instrument les détections de l'effet Zeeman et du décalage Doppler signalées par Veio [10].

3.2 L'approche webcam et logicielle : Daniel Defourneau et Christian Buil

Au printemps 2002, le Français Daniel Defourneau (Le Pin, près de Paris, spécialiste informatique appliquée à la spectroscopie infrarouge sous vide) imagine une approche radicalement différente : il utilise une webcam classique pour filmer en continu le spectre du Soleil, laissant le disque dériver naturellement devant la fente d'un petit spectrographe fixe [17]. Il écrit en Visual Basic un logiciel, SpecHelio (méthode dite « 2D »), qui sélectionne une colonne unique de pixels centrée sur la raie choisie et la concatène image par image pour reconstituer le disque entier [17]. Son spectrohéliographe « de poche » (lunette de 60 mm en collimateur, téléobjectif de 200 mm, réseau, total environ 6 kg, coût inférieur à 200 €) tient sur une planche de bois et fonctionne sans monture motorisée [17]. Sa première image est présentée le 26 juin 2002 sur la liste de diffusion Astrocarn (message n° 31161) [17]. Il publie le logiciel sur son site « ciodelabrie », et démontre en octobre 2009, selon les histoires de Veio, la première observation amateur d'ondes de Moreton ainsi que la première image Doppler colorée du limbe [10].

Quelques mois après Defourneau, Christian Buil lit la description de la méthode, l'expérimente avec succès, l'améliore et l'intègre à son logiciel généraliste IRIS [10], [17]. La diffusion d'IRIS, abondamment documenté, contribue à populariser la technique en France et en Europe. Alex Canicio (sud de la France) écrit ensuite un logiciel plus rapide (AstroSnap), puis José Ribeiro en

2004 abaisse encore le temps de traitement d'environ dix minutes à deux minutes par image [10]. La méthode webcam + logiciel devient alors le standard amateur : tout au long des années 2010, plusieurs amateurs poursuivent la voie ouverte par Defourneau en construisant leurs propres spectrohéliographes numériques, jusqu'à la diffusion de Sol'Ex.

3.3 Magnétogrammes amateurs : André et Sylvain Rondi

Le tandem père-fils André et Sylvain Rondi, en 2005-2006, franchit une nouvelle étape. À partir d'un spectrohéliographe compact à webcam et de polariseurs, ils acquièrent séparément les images d'une région de tache solaire en lumière polarisée droite et gauche, les empilent par traitement IRIS, puis les combinent pour produire ce qui constitue, à notre connaissance, le premier magnétogramme solaire amateur (été 2006), avec une résolution d'environ 6" [10], [18]. La démarche reprend la méthodologie professionnelle de l'effet Zeeman longitudinal et démontre qu'avec un instrument compact, une discipline d'acquisition et une chaîne logicielle adaptée, l'amateur peut accéder à des observables qui étaient jusqu'alors réservés aux observatoires solaires spécialisés. Le site des Rondi conserve la documentation complète de ces travaux et un historique illustré de la spectrohéliographie [18].

3.4 L'état de l'art en 2016 : Ken Harrison, *Imaging Sunlight*

L'Australien et britannique d'origine Ken M. Harrison publie en 2016, dans la collection Patrick Moore Practical Astronomy Series chez Springer, *Imaging Sunlight Using a Digital Spectroheliograph*, premier ouvrage de référence consacré au spectrohéliographe numérique amateur [19]. Le livre couvre la conception optique, la construction mécanique, les logiciels disponibles à l'époque (Virtual Dub, Image J, BASS Project, SpecHelioBas, et SLiM de Wah-Heung Yuen), ainsi qu'un panorama des instruments amateurs alors actifs aux États-Unis, au Royaume-Uni, en France, en Italie, en Chine et en Australie [19]. Ses derniers chapitres retracent une histoire raisonnée du domaine, de Hale et Deslandres jusqu'à Veio. L'ouvrage

paraît juste avant que la pratique ne se diffuse largement, et en fixe l'état de l'art technique.

4 La rupture Sol'Ex (2020-)

4.1 Christian Buil et la conception de Sol'Ex

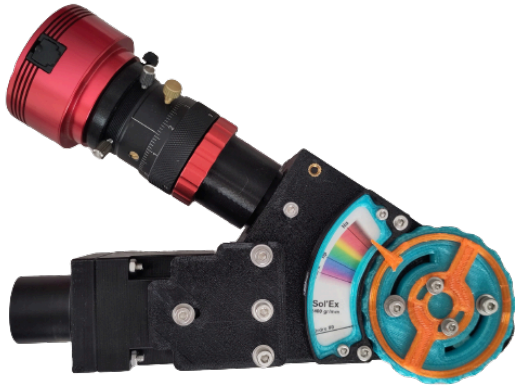


Fig. 2. – Le Sol'Ex de C. Buil.

Fin 2020, Christian Buil conçoit le Sol'Ex (*Solar Explorer*) [20]. Ingénieur retraité du CNES et figure de l'astronomie amateur française depuis les années 1990, il est l'auteur d'IRIS, d'ISIS et d'une famille de spectrographes commerciaux développés avec Shelyak Instruments (LHIRES III, eShel, Alpy 600). L'idée directrice est de mettre à profit deux ruptures technologiques récentes : les imprimantes 3D grand public, qui permettent de fabriquer chez soi des pièces mécaniques précises à coût quasi nul, et les caméras CMOS monochromes très rapides (ASI290 mini et équivalents), capables de saisir des spectres à plus de 100 images par seconde [20].

Sol'Ex se présente comme un parallélépipède en PLA imprimé en 3D, de 500 g, contenant une fente de 10 μm , un doublet collimateur, un réseau holographique de 2 400 traits/mm, un doublet imageur et la caméra [20]. Il s'installe à l'arrière d'une lunette astronomique courante (40 à 100 mm d'ouverture, focale ≤ 480 mm pour imager le disque entier), précédée d'un filtre énergétique (Baader AstroSolar ou prisme de Herschel). L'acquisition repose sur le déplacement contrôlé du télescope en ascension droite (8 à 16 \times la vitesse sidérale), enregistré sous forme de fichier vidéo SER, puis reconstruit ligne à ligne par logiciel. En enregistrant le profil complet de la raie en chaque colonne, Sol'Ex et ses dérivés numériques renouent, près d'un siècle plus tard, avec le spectrohéliographe des vitesses de Deslandres, interrompu en 1939 et repris à Meudon en 2017 seulement [4]. Le kit optique est diffusé en commerce par Shelyak Instruments [21], les fichiers STL d'impression 3D et la documentation sont mis en ligne sous une forme didactique très soignée [20]. Une variante stellaire, Star'Ex, dérive du même boîtier par échange de quelques pièces optiques et permet la spectrographie d'étoiles, de comètes, de nébuleuses et de quasars [20].

L'instrument est présenté officiellement en 2021 lors des journées ProAm de la Société Française d'Astronomie

et d'Astrophysique (SF2A) [22]. En quelques mois, plus de 150 amateurs à travers le monde se sont lancés dans la construction [23], et au milieu des années 2020 la communauté internationale dépasse plusieurs milliers d'utilisateurs.

4.2 INTI et INTI Partner : Valérie Desnoux

Le traitement des fichiers SER produits par Sol'Ex est confié dès l'origine à Valérie Desnoux, collaboratrice de longue date de Christian Buil (auteure du logiciel d'analyse spectrale VSPEC) et actrice de longue date du milieu amateur français. Elle conçoit et développe en Python INTI, logiciel open source dédié à Sol'Ex et recommandé par Christian Buil, qui automatise en un clic l'ensemble de la chaîne : détection de la raie sombre la plus marquée dans la vidéo, modélisation par un polynôme, extraction colonne par colonne, correction du « smile » et du « tilt », reconstruction de l'ellipse solaire, correction géométrique en disque circulaire, ajustement d'échelle et orientation [24]. INTI fixe les conventions de fichiers (FITS 16 bits, JPEG 8 bits, orientation nord-haut/est-gauche) qui rendent les images amateurs compatibles avec les bases de données professionnelles, et fut le premier logiciel adopté pour la soumission au projet SOLAP/BASS2000 [25].

Valérie Desnoux développe également INTI Partner, boîte à outils complémentaire qui regroupe plusieurs applications : visualiseur d'images et de fichiers SER, sélecteur des meilleures images par comparaison par paires, module de stacking avec correction des distorsions, animation, INTI Mosaic (composition de mosaïques fondée sur la méthode multirésolution de Burt & Adelson de 1983) [26], grille de coordonnées de Stonyhurst, et planisphère synoptique sur rotation solaire [27]. INTI Partner accepte des images produites par d'autres logiciels (JSol'Ex, SUNSCAN) ou d'autres spectrohéliographe que Sol'Ex [27].

4.3 Le fork anglophone : Douglas Smith

À partir de 2021, le Britannique Douglas Smith (Londres) et son fils étudiant publient un fork anglophone du code source originel de Valérie Desnoux (vdesnoux/Sol'ex_ser_recon) sous le nom Sol'ex_ser_recon_EN, hébergé sur GitHub sous le pseudonyme « thelondonsmiths » [28]. Le fork apporte une interface en anglais, une plus grande flexibilité dans le basculement entre corrections géométriques automatiques et manuelles, un contrôle individuel des fichiers sauvegardés, et une accélération significative du traitement (typiquement 5 \times à 10 \times selon les données, grâce au multithread) [28], [29]. Le logiciel s'enrichit ensuite d'un mode batch, de traductions multilingues, d'un exécutable Windows autonome et d'un outil *Pixel Offset Live* permettant d'identifier des raies spectrales par rapport à une raie d'ancrage avec calcul automatique de la dispersion [30]. Le projet est largement diffusé sur SolarChat et Cloudy Nights, où Douglas Smith publie régulièrement images, présentations et tutoriels [31]. Une variante expérimentale supportant les fichiers AVI, *Digital_SHG*, en est dérivée par Matt Considine [32].

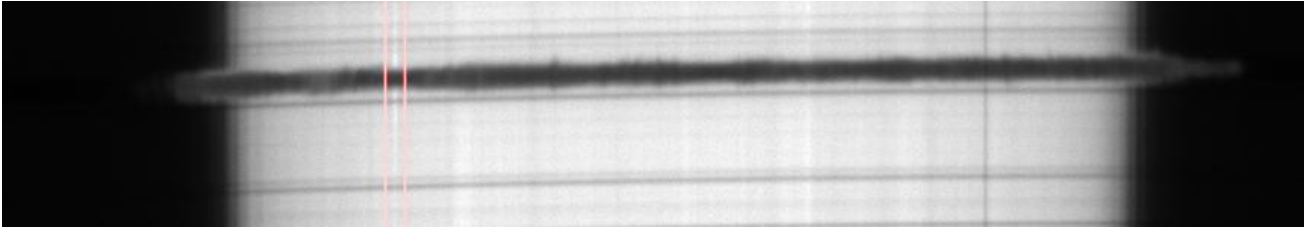


Fig. 4. – Une bombe d’Ellerman repérée automatiquement par JSol’Ex sur le spectre, dans la raie H α (marques rouges). C. Champeau, 12 mai 2026.

4.4 JSol’Ex : Cédric Champeau

L’ingénieur logiciel français Cédric Champeau, spécialisé dans le logiciel open source, découvre la spectrohéliographie en février 2023 à l’occasion d’une « Nuit au Sommet » à l’Observatoire du Pic du Midi de Bigorre. Confronté au coût prohibitif des filtres et étalons solaires traditionnels, il s’oriente vers Sol’Ex, mais souhaite comprendre par lui-même la mécanique de reconstruction d’image. Pour relever ce défi pédagogique personnel, il développe à partir de 2023 JSol’Ex, une implémentation indépendante de la chaîne de reconstruction écrite en Java, publiée sous licence Apache 2 dans le projet open source astro4j [33].

JSol’Ex a été conçu dès l’origine dans une intention didactique et avec un fort souci de facilité d’utilisation, prolongeant la démarche pédagogique de son auteur : le logiciel propose des fonctions qui rendent visibles les étapes de la reconstruction de l’image et aident l’utilisateur à interpréter les images obtenues : quelle raie est observée, à quelle couche de l’atmosphère solaire elle correspond, ou ce que traduit un décalage Doppler. Il rend surtout accessibles en quelques clics des traitements jusque-là réservés aux utilisateurs avancés, comme l’extraction de la raie de l’hélium ou l’imagerie de la couronne solaire. Au-delà de cette accessibilité, JSol’Ex est le premier logiciel SHG à proposer un langage de scripts intégré (*ImageMath*, complété par Python), avec dépôts de scripts communau-

taires, permettant de générer des images personnalisées : continuum, Doppler, animations [33]. Il offre également le stacking et la composition de mosaïques [34], la correction des bords dentelés, l’identification automatique des régions actives et la détection d’éruptions, ainsi que des outils d’analyse avancés : la détection des bombes d’Ellerman [35], la mesure de la rotation différentielle solaire [36] et une visualisation 3D du cube spectral [37].

Porté par cette dynamique d’innovation, le logiciel devient progressivement très populaire au sein de la communauté Sol’Ex, et trouve également des utilisateurs sur d’autres spectrohéliographes, notamment le ML Astro SHG 700. Cette popularité croissante débouche en septembre 2025 sur une reconnaissance institutionnelle : JSol’Ex devient officiellement, aux côtés d’INTI, un outil de soumission accepté pour la base BASS2000 de l’Observatoire de Paris-Meudon [38]. Parallèlement, l’algorithme de détection des bombes d’Ellerman est cité dans la littérature professionnelle [39] et le logiciel est utilisé pour la production de *l’Atlas of Spectroheliograms from 3641 to 6600 Å* de Váradi Nagy et Pietrow (2025) [40]. JSol’Ex sert donc désormais à exploiter scientifiquement les données amateurs.

4.5 SpectroSolHub

En 2026, Cédric Champeau lance SpectroSolHub, plateforme communautaire dédiée au partage et à la discussion des images de spectrohéliographie solaire produites par la communauté Sol’Ex et SHG 700 [41]. Le site héberge galeries, classements, discussions, dépôts de scripts JSol’Ex et flux d’activité. Il permet notamment de générer des animations du Soleil sur plusieurs jours, en agrégeant les observations de nombreux utilisateurs. JSol’Ex et INTI Partner intègrent tous deux une fonction de publication directe vers cette plateforme.

4.6 Concurrence et diversification du matériel

Le succès de Sol’Ex a entraîné, en quelques années, l’émergence d’une gamme d’instruments commerciaux dérivés ou concurrents. Il n’est pas impossible que la qualité et le contraste des images amateurs obtenues avec un SHG soient à l’origine du renouveau des instruments commerciaux à base d’étalons, comme la lunette SkyWatcher Heliostar. En 2024-2025, le Vietnamien Nguyen Trong Minh (Hanoï, ingénieur civil) commercialise via la marque ML Astro le SHG 700, spectrohéliographe entièrement assemblé et calibré en usine, doté de micromètres de précision sur les principaux axes optiques, conçu pour des lunettes de focale ≤ 700 mm et présenté comme une

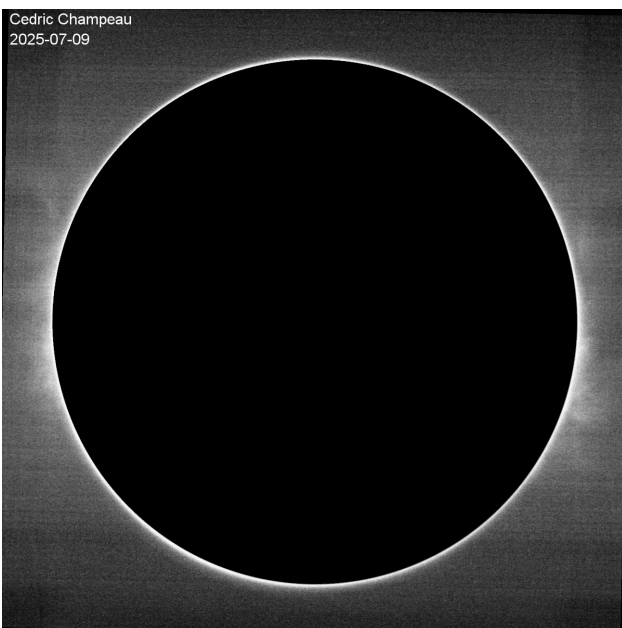


Fig. 3. – La couronne solaire E, obtenue au ML Astro SHG 700 et reconstruite avec JSol’Ex (C. Champeau, 9 juillet 2025).

version plus robuste et plus directement opérationnelle [42], [43]. Son lancement est suivi d'une diffusion rapide à l'international. Comme pour Sol'Ex, le pouvoir de résolution spectrale dépend principalement de la configuration optique (ouverture et focale de la lunette, largeur de fente) plus que de l'instrument lui-même. Les deux spectrohéliographes offrent des performances du même ordre [40].

Azur3DPrint, partenaire commercial du projet Sol'Ex, propose des kits mécaniques pré-imprimés et pré-assemblés. Shelyak Instruments distribue le kit optique de référence (fente, réseau, doublets) [21]. La motorisation du réseau, qui permet de basculer d'une raie spectrale à l'autre depuis un smartphone, fait l'objet de plusieurs projets open source (par exemple celui de Jean Brunet et Stéphane Ferrier sur GitHub) [44].

4.7 SUNSCAN et l'association STAROS

L'étape suivante, en 2024-2025, est franchie avec SUNSCAN, instrument autonome développé par l'équipe STAROS Projects (Guillaume Bertrand, Christian Buil, Valérie Desnoux, Olivier Garde, Matthieu Le Lain) [45]. SUNSCAN intègre dans un unique boîtier la lunette, le spectrohéliographe, une caméra couleur miniature, un mini-ordinateur Raspberry Pi et une batterie. Il est piloté par smartphone ou tablette en Wi-Fi et fournit des images de la chromosphère solaire en quelques minutes, sans monture motorisée ni connaissances préalables [45], [46]. Présenté aux Rencontres du Ciel et de l'Espace (RCE) en novembre 2024, l'instrument vise en priorité l'éducation : clubs, écoles, animations grand public [47]. Il est diffusé sous licence open source, avec une application mobile dédiée (iOS/Android) [48]. En novembre 2025, SUNSCAN vaut à l'équipe STAROS le premier prix du Grand Prix triennal pour l'innovation instrumentale amateur de la Société astronomique de France (SAF) [49].

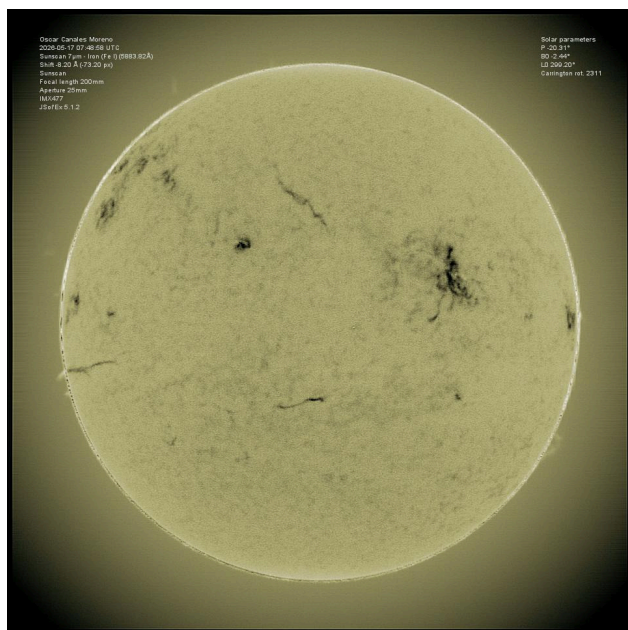


Fig. 5. – Le Soleil dans la raie de l'hélium D3, acquis avec un SUNSCAN et reconstruit avec JSol'Ex (Oscar Canales Moreno, 17 mai 2026).

L'association à but non lucratif STAROS fédère par ailleurs l'ensemble de l'écosystème (Sol'Ex, Star'Ex, SUNSCAN, INTI), coordonne le financement participatif et structure la communauté en interface avec les chercheurs [45].

5 La collaboration pro-amateur (2023-)

5.1 SOLAP et BASS2000

Le 7 février 2023, l'Observatoire de Paris-Meudon lance avec Christian Buil le projet SOLAP, collaboration formalisée entre astronomes professionnels et amateurs équipés de Sol'Ex [25]. L'objectif est de prolonger et d'enrichir la base de données solaire BASS2000, qui archive depuis Deslandres plus de 100 000 images monochromatiques du Soleil prises à Meudon en H α et Ca II K, couvrant plus de dix cycles solaires [50]. La couverture géographique des amateurs (plusieurs dizaines de stations à travers le monde) compense les aléas météorologiques d'un site unique : la chromosphère peut ainsi être suivie quotidiennement, et souvent plusieurs fois par jour.

Le protocole, publié en 2023 par Jean-Marie Malherbe, Florence Cornu et Isabelle Bualé (LESIA), impose le traitement par INTI et le format FITS 16 bits avec orientation normalisée [25]. Au printemps 2025, SOLAP compte 41 contributeurs réguliers et plus de 6 000 images ont été archivées dans BASS2000 [50]. Le projet est coordonné à Meudon par Milan Maksimovic, et l'Observatoire de Paris a organisé en mai 2025 une rencontre conviviale entre chercheurs et amateurs SOLAP au LIRA (Service Solaire), incluant une visite du spectrohéliographe historique [50].

5.2 Production scientifique amateur

Des publications scientifiques s'appuient désormais directement sur des données acquises par Sol'Ex et SHG 700. Buil, Malherbe et Maksimovic publient en 2023 dans *Photoniques* un article de synthèse sur Sol'Ex et l'imagerie monochromatique solaire dans le cadre de la collaboration pro-am [51]. En 2025, Pál Váradi Nagy et A. G. M. Pietrow (Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam) publient un atlas de spectrohéliogrammes de 3641 à 6600 Å entièrement réalisé avec un Sol'Ex et un ML Astro SHG 700 pendant le maximum solaire 2025, à une résolution spectrale $R = 20\,000 - 40\,000$ et une résolution spatiale moyenne de 2,5" [40]. La même année, l'article de Faryad et al. sur la détection automatique des bombes d'Ellerman cite JSol'Ex parmi les pipelines de détection contemporains [39]. Des amateurs équipés produisent donc des jeux de données assez cohérents pour servir de référence à la recherche professionnelle, notamment pour les comparaisons Soleil/étoiles utiles à la recherche d'exoplanètes.

6 Vue d'ensemble : structure et dynamique de la pratique contemporaine

À la fin des années 2020, la spectrohéliographie amateur articule plusieurs composantes :

- **Matériel** : Sol'Ex (auto-construit, imprimé 3D, ~600 €), ML Astro SHG 700 (clé en main, robuste), SUNSCAN (tout-en-un, éducatif), auxquels s'ajoutent un nombre encore important d'instruments artisanaux à plus

longue focale construits dans la lignée Veio/Manning par des amateurs chevronnés.

- **Logiciels de reconstruction** : INTI (Desnoux, Python, référence pour la chaîne BASS2000), Solex_ser_recon_EN (fork anglophone de D. Smith, multithread, multilingue, exécutable Windows), JSol'Ex (Champeau, Java, fonctions analytiques avancées, également accepté pour la soumission à BASS2000).
- **Logiciels de post-traitement et de partage** : INTI Partner (Desnoux, mosaïques, animations, planisphère synoptique), SpectroSolHub (Champeau, plateforme communautaire).
- **Acquisition** : SharpCap et FireCapture (commerciaux), captures au format SER.
- **Communautés** : liste de diffusion *Solex-project* sur groups.io, serveur Discord JSol'Ex, sous-forum dédié sur Astrosurf, communauté SHS historique, fils dédiés sur Cloudy Nights et SolarChat. Les Rencontres du Ciel et de l'Espace (Paris) et les rencontres d'observateurs solaires servent de points de rencontre annuels.
- **Données** : base BASS2000 de l'Observatoire de Paris-Meudon, hébergement gratuit d'archives personnelles sur Astrosurf, dépôts d'atlas sur arXiv et sites institutionnels.
- **Ouvrages de référence** : *The Spectroheliograph* de Veio (1972, étendu en 2000, libre), *Imaging Sunlight* de Harrison (Springer, 2016, ISBN 978-3-319-24872-1), *Guide de l'observation solaire avec un spectrohéliographe* de Christian Buil et Valérie Desnoux (EDP Sciences, 2026, ISBN 978-2-7598-3931-5), *Astronomie solaire* de Christian Viladrich et coll. (Axilone, ISBN 979-10-92974-06-5).

7 Chronologie

Principaux jalons de l'histoire de la spectrohéliographie, professionnelle puis amateur :

- **1868** : Janssen et Lockyer observent les protubérances solaires en dehors d'une éclipse.
- **v. 1890** : invention indépendante du spectrohéliographe par George Ellery Hale et Henri Deslandres.
- **1892** : Deslandres obtient les premières images monochromatiques de la chromosphère.
- **1908-1909** : premières images en H α par Hale (Mont Wilson). Grand spectrohéliographe de Meudon.
- **1924** : Hale invente le spectrohéloscope.
- **1932** : McMath filme les protubérances solaires (*spectroheliokinematograph*).
- **1938-1940** : premiers spectrohéloscopes amateurs en Angleterre (Sellers, puis Ellison).
- **1957** : commercialisation des réseaux de diffraction répliqués par Bausch & Lomb.
- **1962-1972** : Fredrick Veio construit un spectrohéloscope compact et diffuse sa brochure d'auto-construction.
- **1975** : Brian Manning : observation amateur du décalage Doppler du sodium.
- **v. 1992** : Philippe Rousselle réalise les premiers spectrohélogrammes amateurs au détecteur linéaire (CCD Thomson, Atari 520).

- **2002** : Daniel Defourneau : méthode webcam + logiciel, première image le 26 juin.
- **2005-2006** : André et Sylvain Rondi : premier magnéto-gramme solaire amateur.
- **2006** : Veio et Higgins publient leur observation de l'effet Zeeman au spectrohéloscope (*Journal of the BAA*).
- **2016** : Ken Harrison publie *Imaging Sunlight* (Springer).
- **2020** : Christian Buil conçoit le Sol'Ex.
- **2021** : présentation de Sol'Ex aux journées ProAm SF2A. Fork Solex_ser_recon_EN (D. Smith).
- **2023** : lancement du projet SOLAP (7 février). Premières versions de JSol'Ex (Cédric Champeau).
- **2024** : commercialisation du SHG 700 (ML Astro). Présentation de SUNSCAN aux RCE.
- **2025** : JSol'Ex agréé pour la base BASS2000. Atlas de spectrohélogrammes de Váradí Nagy et Pietrow. Premier prix SAF de l'innovation pour SUNSCAN.
- **2026** : lancement de SpectroSolHub. Parution du *Guide de l'observation solaire avec un spectrohéliographe* de Buil et Desnoux.

8 Influence et bilan

En un peu plus d'un siècle, la frontière entre professionnels et amateurs s'est déplacée. Jusqu'aux années 1990, un amateur capable de bâtir un spectrohéliographe atteignait au mieux les performances d'un observatoire des années 1900-1930. Les instruments amateurs d'aujourd'hui réunissent une optique de précision, des capteurs CMOS rapides et des logiciels ouverts. Ils donnent accès, à faible coût, à des observables (Doppler, magnéto-gramme, hélium D3, couronne en Fe XIV) autrefois réservées aux grands observatoires solaires.

Cette complémentarité avec la recherche professionnelle a pourtant ses limites. L'atout d'un spectrohéliographe, amateur ou professionnel, est de couvrir d'un coup le disque solaire entier. Son pouvoir de résolution spectrale, en revanche, plafonne autour de $R \approx 30\,000$, soit un ordre de grandeur en deçà des $R > 300\,000$ requis par la spectroscopie solaire de pointe [4]. Cette finesse est l'apanage de grands instruments spécialisés, qui n'observent qu'un très petit champ à la fois. L'apport amateur se loge donc dans la couverture, spatiale, temporelle et multi-raies, plus que dans la précision spectrale.

Plusieurs ressorts expliquent cette trajectoire. Le matériel est devenu abordable : réseaux répliqués dans les années 1960, webcams puis capteurs CMOS dans les années 2000, impression 3D dans les années 2020. Les logiciels et les protocoles ont circulé librement, de Veio à Defourneau, Buil, Desnoux, Smith et Champeau. La pratique s'est enfin structurée, autour de la plateforme communautaire Astrosurf comme de l'Observatoire de Paris, de la société savante SF2A et de l'association STAROS. Versées chaque jour dans BASS2000, les images amateurs prolongent ainsi la mission de Meudon, à présent à l'échelle de plusieurs continents.

Note sur les sources. L'histoire récente de la spectrohéliographie amateur n'a fait l'objet que de peu de littérature académique : une partie des sources mobilisées ici provient d'archives communautaires (forums, sites personnels, dépôts logiciels, notes de version). Les antériorités revendiquées (« premier... ») et les chiffres de diffusion reposent largement sur la mémoire de cette communauté et gagneraient à être recoupés avec des sources primaires.

Remerciements

L'auteur remercie Philippe Rousselle pour son témoignage détaillé sur ses premiers spectrohélogrammes au détecteur linéaire (Atari 520, CCD Thomson) et sur la filiation Defourneau / Rondi / Poupeau. Il remercie également Jean-Marie Malherbe (Observatoire de Paris) pour ses précisions sur la double conception (formes et vitesses) du spectrohélographe de Deslandres, sur la reprise des mesures de profils de raies à Meudon en 2017 et sur les limites spectrales des instruments à grand champ, ainsi que Florence Cornu (Observatoire de Paris) pour ses relectures et ses retours sur le protocole SOLAP/BASS2000.

Références

- [1] A. Rondi et S. Rondi, « Histoire de la spectrohéliographie ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.astrosurf.com/rondi/obs/shg/historique.htm>
- [2] Observatoire de Paris-PSL, « Le spectrohélographe de Meudon ». [En ligne]. Disponible sur: <https://observatoiredeparis.psl.eu/le-spectroheliographe-de.html>
- [3] Site des observateurs solaires, « 110 ans d'observations solaires à Meudon ». [En ligne]. Disponible sur: <https://observations-solaires.obspm.fr/110-ans-d-observations-solaires-a-Meudon>
- [4] J.-M. Malherbe, « Retour de relecture ». mai 2026.
- [5] G. E. Hale, « The spectrohelioscope and its work (parts I-IV) », *Astrophysical Journal*, vol. 70, p. 265, 1929.
- [6] K. Fortin, « Towering task: astronomy buffs fight to save shuttered observatory near Pontiac », *The Detroit News*, janv. 2025.
- [7] The History and Science of Total Solar Eclipses, « Spectroheliograph ». [En ligne]. Disponible sur: <https://eclipse-history.wp.st-andrews.ac.uk/spectroheliograph/>
- [8] F. J. Sellers, « The spectrohelioscope », *Memoirs of the British Astronomical Association*, vol. 37, 1952.
- [9] M. A. Ellison, « A spectrohelioscope », *Journal of the British Astronomical Association*, vol. 50, p. 107, 1940.
- [10] F. N. Veio, « History of spectrohelioscopes by amateurs ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.webastro.net/forums/topic/54372-histoire-de-la-spectreheliographie-amateur/>
- [11] Cloudy Nights forum, « RIP Fred Veio, spectrohelioscope pioneer ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cloudynights.com/topic/869844-rip-fred-veio-spectrohelioscope-pioneer/>
- [12] F. N. Veio, « A compact spectrohelioscope », *Sky & Telescope*, janv. 1969.
- [13] B. G. W. Manning, « A new spectrohelioscope », *Journal of the British Astronomical Association*, vol. 92, p. 112, 1982.
- [14] F. N. Veio et L. F. Higgins, « The Zeeman effect observed with a spectrohelioscope », *Journal of the British Astronomical Association*, vol. 116, févr. 2006.
- [15] P. Rousselle, « Retour de relecture ». mai 2026.
- [16] P. Rousselle, « Observation du Soleil avec un spectrohélographe ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.astrosurf.com/spectrohelio/>
- [17] D. Defourneau, « Construire un spectrohélographe amateur ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.astrosurf.com/cieldelabrie/sphelio.htm>
- [18] A. Rondi et S. Rondi, « Magnétogrammes amateurs et historique de la spectrohéliographie ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.astrosurf.com/rondi/obs/shg/index.htm>
- [19] K. M. Harrison, *Imaging Sunlight Using a Digital Spectroheliograph*. Springer, 2016.
- [20] C. Buil, « Sol'Ex : présentation ». [En ligne]. Disponible sur: <https://solex.astrosurf.com/>
- [21] Shelyak Instruments, « Kit optique pour spectrohélographe Sol'Ex ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.shelyak.com/produit/kit-optique-pour-spectroheliographe-solex/>
- [22] C. Buil, « Le projet Sol'Ex / Star'Ex ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.astrosurf.com/buil/solex/education/2021-ProAm-SF2A-G-Le-projet-SolEx_StarEx.pdf
- [23] P. Garrigues, « Spectrohéliographe - Sol'Ex ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.pg-astro.fr/astronomie/materiel-et-pratique/spectroheliographe-sol-ex.html>
- [24] V. Desnoux, « INTI - INTI Spectroheliography Processing ». [En ligne]. Disponible sur: <http://valerie.desnoux.free.fr/inti/>
- [25] J.-M. Malherbe, F. Cornu, et I. Bualé, « Solex observations for the BASS2000 database, a collaboration PRO-AM », 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://arxiv.org/abs/2305.14804>
- [26] V. Desnoux, « Inti_mosaic ». [En ligne]. Disponible sur: https://github.com/Vdesnoux/Inti_mosaic
- [27] V. Desnoux, « INTI Partner ». [En ligne]. Disponible sur: <http://valerie.desnoux.free.fr/inti/partner.html>
- [28] D. Smith, « New SHG (spectroheliography) software available now for testing ». [En ligne]. Disponible

- sur: <https://solarchatforum.com/viewtopic.php?t=32654>
- [29] D. Smith, « Spectroheliograph (SHG) reconstruction software - Python and Java versions ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cloudynights.com/topic/885943-spectroheliograph-shg-reconstruction-software-python-and-java-versions/>
- [30] D. Smith, « Release Solex_ser_recon_EN version 4.2.1 Windows exe ». [En ligne]. Disponible sur: https://github.com/thelondonsmiths/Solex_ser_recon_EN/releases
- [31] D. Smith, « How to Build and Use a Spectroheliograph - slides and Zoom call recording ». [En ligne]. Disponible sur: <https://solarchatforum.com/viewtopic.php?t=40847>
- [32] M. Considine, « Digital_SHG ». [En ligne]. Disponible sur: https://github.com/mconsidine/Digital_SHG
- [33] C. Champeau, « JSol'Ex - documentation officielle ». [En ligne]. Disponible sur: <https://melix.github.io/astro4j/latest/en/jsolsex.html>
- [34] C. Champeau, « Stacking and mosaic creation with JSol'Ex 2.0 ». [En ligne]. Disponible sur: <https://melix.github.io/blog/2024/01-04-jsolsex-2.0.html>
- [35] C. Champeau, « Ellerman bombs detection with JSol'Ex 3.2 ». [En ligne]. Disponible sur: <https://melix.github.io/blog/2025/05-19-jsolsex-3-2-0.html>
- [36] C. Champeau, « Mesurer la rotation différentielle solaire avec JSol'Ex ». [En ligne]. Disponible sur: <https://melix.github.io/blog/2026/02/06-mesure-rotation-differentielle.html>
- [37] C. Champeau, « astro4j - notes de version ». [En ligne]. Disponible sur: <https://github.com/melix/astro4j/releases>
- [38] C. Champeau, « JSol'Ex 4.0.0 est sorti ! ». [En ligne]. Disponible sur: <https://melix.github.io/blog/2025/09-11-jsolsex-4.0.0.html>
- [39] A. Faryad, A. G. M. Pietrow, M. Verma, et C. Denker, « Automatic detection of Ellerman bombs in the H-alpha line », 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://arxiv.org/abs/2508.10853>
- [40] P. Váradi Nagy et A. G. M. Pietrow, « An Atlas of Spectroheliograms from 3641 to 6600 Angstrom », 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://arxiv.org/abs/2507.13025>
- [41] C. Champeau, « SpectroSolHub - plateforme communautaire de spectrohéliographie solaire ». [En ligne]. Disponible sur: <https://spectrosolhub.com/>
- [42] T. M. Nguyen, « Introducing MlAstro SHG 700 ». [En ligne]. Disponible sur: <https://solarchatforum.com/viewtopic.php?t=47614>
- [43] ScopeTrader, « How spectroheliographs work ». [En ligne]. Disponible sur: <https://scopetrader.com/how-spectroheliographs-work/>
- [44] S. Ferier et J. Brunet, « SolEx-Motorisation ». [En ligne]. Disponible sur: <https://github.com/stephaneferier/SolEx-Motorisation>
- [45] STAROS Projects, « SUNSCAN ». [En ligne]. Disponible sur: <https://staros-projects.org/sunscan.html>
- [46] STAROS Projects, « SUNSCAN ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.sunscan.net/fr>
- [47] C. Buil, « SUNSCAN - L'observatoire solaire autonome ». [En ligne]. Disponible sur: <https://media.afastronomie.fr/RCE/RCE2024/BUIL.pdf>
- [48] STAROS Projects, « SUNSCAN - application mobile officielle ». [En ligne]. Disponible sur: <https://github.com/staros-projects/sunscan-app>
- [49] Société astronomique de France, « Prix et médailles ». [En ligne]. Disponible sur: <https://safastronomie.fr/prix/>
- [50] LIRA - Observatoire de Paris, « Rencontre conviviale avec les amateurs SOL'EX à l'Observatoire de Paris pour célébrer la collaboration SOLAP ». [En ligne]. Disponible sur: <https://lira.obspm.fr/Rencontre-conviviale-avec-les-amateurs-SOL-EX-a-l-Observatoire-de-Paris-pour>
- [51] C. Buil, J.-M. Malherbe, et M. Maksimovic, « Sol'Ex et l'imagerie monochromatique solaire », *Photoniques*, n° 120, p. 36-40, 2023, [En ligne]. Disponible sur: <https://cnrs.hal.science/hal-04097987>