

Ciel et Terre

*Bulletin de la Société Royale belge d'Astronomie,
de Météorologie et de Physique du Globe*

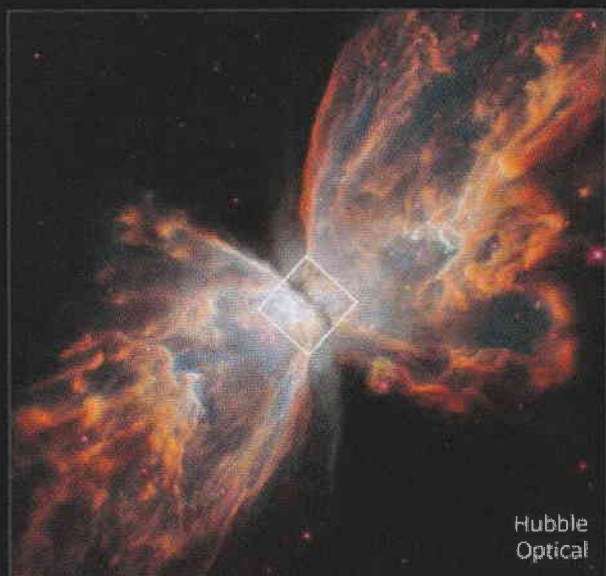


Bureau de dépôt: Bruxelles X - P401158

Bimestriel

Vol. 141, n° 5, Septembre - Octobre 2025

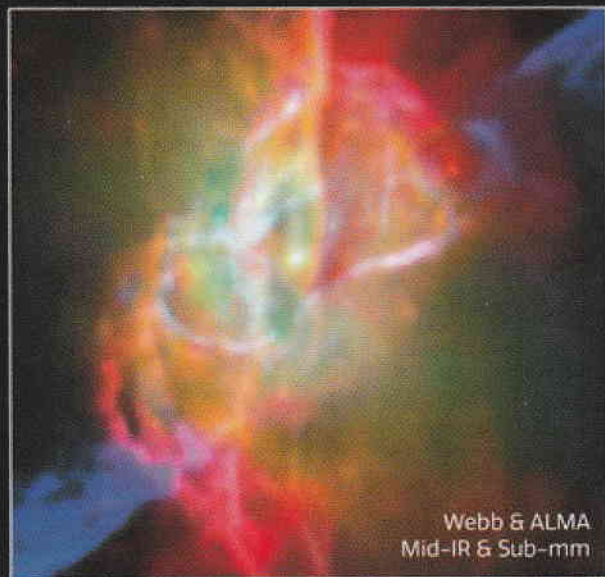
Avec l'appui de l'Observatoire Royal de Belgique



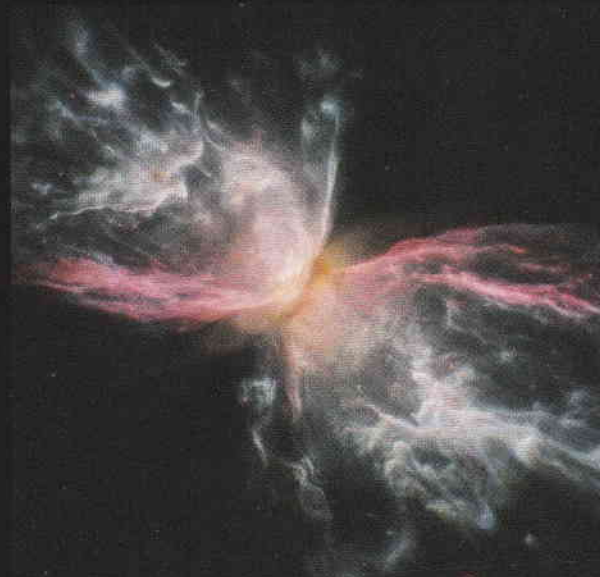
Hubble
Optical



Hubble
Near-IR



Webb & ALMA
Mid-IR & Sub-mm



PROJET SCOLAIRE SOLARIS : Observer le Soleil avec un SUNSCAN

Clément Chéry, Théo Cornet Bielecki,
Alban Jadin, Romain Piscaglia et Rémy Mas

Dans le Bulletin Ciel et Terre paru début juillet (Vol. 141 n°4 p 93) la Rédaction a présenté le projet Solaris lauréat du concours CLA des Prix Lucie Dekeyser de façon succincte. Les élèves ont pris du temps sur leurs vacances pour nous présenter leur Projet de façon détaillée.

C'est leur travail que nous vous présentons ici.

Introduction

Observer le Soleil et mesurer sa rotation, est le défi dans lequel nous nous sommes lancés au sein du club d'astronomie de notre lycée. Pour cela, nous avons construit un spectrohéliographe, c'est-à-dire un instrument d'observation solaire, avec lequel nous avons réalisé des relevés de la position des taches solaires et déterminé leur période de rotation. Ce projet, nous a fournis de nombreuses compétences théoriques et pratiques en astronomie, un domaine peu abordé dans les cours de sciences. Nous avons ainsi exploré le Soleil et nourri notre curiosité à travers ce long projet scientifique, que nous avons présenté à Science-Expo, où il a été récompensé par un deuxième prix.

1. Présentation du projet SOLARIS

1.1. Contexte et déclencheur du projet

Lors des Rencontres du Ciel et de l'Espace[1] à Paris, en novembre 2024, nous avons découvert le spectrohéliographe SUNSCAN[2], présenté par l'équipe STAROS[3]. Ce nouvel instrument, dérivé du *Sol'Ex*[4]

imaginé par Christian Buil[5] en 2020, a immédiatement suscité notre enthousiasme. Compact, innovant, adapté à un public scolaire, il ouvrait des perspectives passionnantes d'observation solaire.

De retour en Belgique, l'idée d'un projet autour du SUNSCAN a rapidement pris forme. Fin décembre 2024, une proposition est faite aux élèves du club d'astronomie de notre école : construire l'instrument, apprendre à l'utiliser, observer le Soleil, mesurer sa période de rotation, et présenter les résultats au concours Science-Expo 2025[6]. C'est ainsi qu'est née l'équipe SOLARIS, avec des objectifs concrets et ambitieux.

1.2. L'équipe SOLARIS

Nous constituons un groupe de quatre élèves du club d'astronomie SPICA (<https://astropica.be>) de l'Institut de l'Enfant Jésus de Nivelles[7]: Alban, en 6e secondaire générale (option sciences 6h), et Romain, Clément et Théo, en 5e secondaire générale (option sciences 6h également). Ensemble, nous formons l'équipe SOLARIS, unis par une même passion pour les sciences et l'astronomie.

Tout au long de ce projet, nous avons été accompagnés par notre

professeur de sciences, Rémy Mas, également responsable du club. Des échanges réguliers avec des membres de l'équipe STAROS, en particulier Olivier Garde[8], nous ont aussi apporté un soutien technique précieux et de nombreux conseils pratiques.

1.3. Pourquoi un tel projet ? Constat pédagogique et intérêt de l'astronomie

L'astronomie est une branche fascinante des sciences, mais elle est pourtant peu présente dans les cours de sciences ou de géographie au secondaire. Et pourtant, elle suscite souvent un vif intérêt chez les élèves. Cette curiosité naturelle est un formidable point d'appui pour développer des compétences en physique, en chimie ou en mathématiques.

Dans un contexte où les discours antiscientifiques se diffusent largement, notamment via les réseaux sociaux, il semble essentiel de renforcer une culture scientifique rigoureuse et ancrée dans l'observation. L'astronomie, qui repose sur des données accessibles, vérifiables et visuellement parlantes, constitue un terrain idéal pour exercer l'esprit critique et redonner du sens à la science.

Cependant, faire découvrir et pratiquer l'astronomie dans un cadre

scolaire n'est pas chose aisée. Les programmes officiels sont déjà très denses, et les activités d'observation, souvent nocturnes, se heurtent aux contraintes d'horaires, de météo ou encore de pollution lumineuse.

C'est précisément pour dépasser ces obstacles que le club d'astronomie scolaire joue un rôle clé. En proposant un cadre souple, en dehors des cours, il permet aux élèves de s'investir dans des projets scientifiques à leur rythme. Le projet *SOLARIS* s'inscrit pleinement dans cette dynamique. L'instrument *SUNSCAN* a été le point de départ de notre projet.

1.4. Pourquoi *SUNSCAN* était l'instrument idéal

Le *SUNSCAN* s'est rapidement imposé comme l'instrument idéal pour un projet scolaire. D'abord, il est d'un coût raisonnable pour un instrument scientifique, ce qui le rend accessible à un club d'élèves motivés, notamment grâce à un soutien financier comme celui que nous avons reçu de la Société Royale Belge d'Astronomie SRBA[9]. Son fonctionnement, bien que technique, reste compréhensible, à condition d'acquérir certaines bases en optique, spectroscopie et acquisition d'images.

En outre, le *SUNSCAN* permet de réaliser des observations du Soleil, dans des conditions compatibles avec les horaires scolaires, sans être limité par la pollution lumineuse ni les contraintes des observations nocturnes

L'instrument est compact, léger et rapide à mettre en œuvre : en moins de dix minutes, il est possible de l'installer, de viser le Soleil, de capturer un spectre, et d'obtenir une image spectrale reconstituée.

Son fonctionnement ne nécessite ni mise en station, ni monture équatoriale, ce qui le rend facilement transportable et utilisable dans un cadre scolaire ou lors d'ateliers. Il peut fonctionner sur une simple monture azimutale légère, rendant son installation très accessible.

Enfin, les possibilités pédagogiques offertes par le *SUNSCAN* sont très riches : chaque étape — montage, alignement, prise d'images, traitement et analyse — mobilise et développe des compétences en physique, chimie, mathématiques, informatique et astrophysique.

1.5. Du XIXe siècle à *SUNSCAN* : l'évolution du spectrohéliographe

Les premiers spectrohélioscopes apparaissent dans la seconde moitié du XIXe siècle et permettent l'observation visuelle du spectre solaire. C'est ainsi que Joseph Lockyer découvre l'hélium en 1860. Le spectrohéliographe, capable de produire des images monochromatiques du Soleil, est mis au point quelques années plus tard, mais reste longtemps réservé aux professionnels.

En 2020, Christian Buil, astronome amateur français, conçoit le premier spectrohéliographe accessible aux amateurs : Sol'Ex (pour Solar Explorer). Compact, léger, imprimé en 3D, Sol'Ex s'utilise avec un télescope, une caméra et une monture équatoriale.

En 2024, les cinq membres de l'équipe *STAROS* — Valérie Desnoux, Guillaume Bertrand, Olivier Garde, Matthieu Le Lain et Christian Buil — développent *SUNSCAN*, un nouvel instrument tout-en-un inspiré de Sol'Ex. Plus besoin de télescope, de caméra ou d'ordinateur : un simple trépied, *SUNSCAN* et un

smartphone suffisent pour produire des images du Soleil dans la raie spectrale souhaitée. Ce nouveau dispositif est encore plus compact, rapide et simple d'utilisation, ce qui le rend idéal dans un cadre scolaire.

1.6. Apprentissages interdisciplinaires permis par le projet

Le projet *SOLARIS* nous a permis de développer des compétences bien au-delà de l'astronomie.

Nous avons utilisé une imprimante 3D pour produire nous-mêmes certaines pièces de l'instrument, et appris à assembler un dispositif scientifique complet, combinant mécanique, optique et électronique.

Nous avons aussi installé les logiciels nécessaires à la capture, au traitement et à l'analyse des images, ce qui a renforcé nos compétences en informatique et en traitement de données.

La prise de mesures, leur interprétation, et la valorisation des résultats nous ont plongés dans une démarche scientifique complète, exigeante mais stimulante. Tout cela s'est fait de manière progressive et concrète, dans un cadre motivant qui nous a permis de gagner en autonomie, en rigueur et en esprit critique.

1.7. Soutien externe et reconnaissance obtenue

C'est grâce au soutien de la SRBA[9] que nous avons pu concrétiser ce projet. En décembre 2024, nous l'avons contactée pour solliciter le financement de notre initiative via le prix Lucie Dekeyser – CLA, et avons rapidement reçu une réponse favorable.

Ce soutien nous a permis de construire le *SUNSCAN* et de ré-

aliser nos premières observations en février et mars 2025.

Tout ce travail, ainsi que l'implication constante des membres de l'équipe, ont alors porté leurs fruits : nous avons remporté la deuxième place au concours Science-Expo, qui s'est tenu les 28 et 29 mars 2025 sur le campus de l'UCL à Bruxelles.

2. SUNSCAN : un instrument accessible pour observer le Soleil

2.1. Le principe du spectrohéliographe

Un spectrohéliographe est un instrument qui permet de prendre des images du Soleil dans une longueur d'onde (couleurs) bien précise. Il agit comme un filtre extrêmement sélectif, en ne retenant qu'une raie spectrale particulière, associée à un élément chimique spécifique présent dans l'atmosphère solaire.

Concrètement, la lumière du Soleil passe à travers une fente très fine (10 μm), puis est dispersée par un réseau de diffraction (2400 traits/mm) pour former un spectre. Une caméra (IMX477) enregistre ce spectre ligne par ligne, pendant que le soleil se

déplace devant la fente par son mouvement propre dans le ciel en environ 2 min (Figure 1). Après traitement de la série d'images, on obtient ainsi une image monochromatique du Soleil, révélant les structures liées à l'élément chimique observé (par exemple : hydrogène, calcium, sodium...).

L'intérêt de cette technique est qu'elle permet de visualiser différentes couches de l'atmosphère solaire en fonction de la raie choisie, et de mettre en évidence des phénomènes invisibles en lumière blanche.

2.2. Comparaison avec d'autres instruments

Le *SUNSCAN* n'est pas le seul instrument permettant d'observer le Soleil, mais il présente plusieurs avantages notables dans un contexte scolaire ou amateur.

D'un point de vue matériel, ses dimensions modestes (objectif de 25 mm seulement) limitent la résolution spatiale des images produites : on observe davantage le Soleil dans son ensemble que les détails de phénomènes localisés. Cependant, cette limitation est compensée par le caractère compact, la légèreté (environ 1 kg) et la facilité de mise en œuvre, même sans mise en station.

Contrairement aux télescopes solaires commerciaux, qui sont spécialisés dans l'observation d'une seule raie (souvent H-alpha ou Ca K) et permettent une observation visuelle directe, le *SUNSCAN* — tout comme son prédécesseur Sol'Ex — est un instrument entièrement dédié à l'imagerie spectrale. Il ne permet pas d'observer à l'œil, mais il ouvre l'accès à toutes les longueurs d'onde du

spectre visible, de 400 à 700 nm, ce qui offre une très grande variété d'observations scientifiques.

Les télescopes solaires classiques peuvent se répartir en deux grandes catégories :

- Ceux qui observent la photosphère avec des filtres de densité neutre (et parfois un filtre autour de 540 nm pour améliorer le contraste) ;
- Ceux qui sont spécialisés dans une raie d'émission particulière (souvent H α ou Ca), mais dont le coût est souvent bien plus élevé que celui du *SUNSCAN*, et qui nécessitent une monture équatoriale et une caméra d'imagerie.

De son côté, un simple télescope avec un filtre solaire de pleine ouverture permet d'observer le Soleil en lumière blanche, de manière plus économique si l'on possède déjà le matériel. Mais cette solution ne donne accès qu'à une information très limitée, là où l'analyse spectrale révèle la structure fine et dynamique de l'atmosphère solaire, ainsi que des phénomènes physiques spécifiques.

Enfin, seul un coronographe permet d'observer depuis le sol la base de la couronne solaire en dehors des éclipses, mais ce type d'instrument est plus complexe et hors de portée dans un cadre scolaire.

En résumé, le *SUNSCAN* représente un excellent compromis entre accessibilité, polyvalence et potentiel scientifique. Il offre un accès pédagogique privilégié à la diversité des phénomènes solaires sans les contraintes techniques, financières ou logistiques associées à d'autres instruments plus spécialisés.

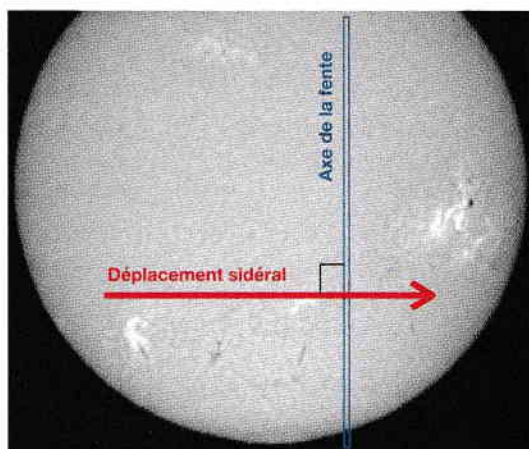


Fig 1 : Principe de la spectro-imagerie du soleil (crédit : C. Buil).[10]



Fig 2 : Schéma interne du SUNSCAN : vue en coupe de l'instrument montrant les principales pièces optiques ainsi que le chemin suivi par la lumière solaire depuis l'objectif jusqu'au capteur (crédit : STAROS projects) [2].

2.3 Simplicité et intérêt pédagogique

Le SUNSCAN se distingue par sa grande simplicité d'utilisation, un atout majeur dans un contexte éducatif.

Cette accessibilité technique en fait un excellent support pédagogique interdisciplinaire, mobilisable dans de nombreux contextes éducatifs. Il mobilise :

- des compétences techniques (assemblage mécanique, alignement optique, impression 3D) ;
- des connaissances théoriques (optique, spectroscopie, structure du Soleil, analyse d'images) ;
- des capacités d'analyse scientifique (comparaison de spectres, suivi de phénomènes solaires...).

Il permet de visualiser des phénomènes invisibles à l'œil nu, et de donner du sens aux notions vues en cours, comme les longueurs d'onde, l'effet Doppler, la structure en couches de l'atmosphère

solaire, ou encore le lien entre spectre et composition chimique.

Enfin, la possibilité de produire des images spectrales dans de nombreuses raies, d'exploiter ces données pour des mesures (comme la rotation solaire), et de les valoriser dans des projets scientifiques concrets, en fait un outil de motivation et de valorisation des élèves particulièrement puissant.

3. De la construction à la première lumière

3.1 – Construction, assemblage et réglage de l'instrument

Le SUNSCAN est un spectrohéliographe à construire soi-même à partir de pièces imprimées en 3D, de composants optiques, électroniques et mécaniques. L'instrument a été conçu pour être accessible à un public scolaire ou amateur motivé, mais il nécessite tout de même rigueur, précision et un certain budget.

Impression 3D : conception et fabrication

Nous avons imprimé les 27 pièces du SUNSCAN avec l'imprimante P1S Bambu Lab de l'école, en utilisant du filament PETG noir mat.

Assemblage : optique, électronique et mécanique

Une fois les pièces prêtes, nous avons assemblé les composants optiques (objectif, fente, lentilles, réseau de diffraction, miroir, etc.) (Figure 2) en suivant les instructions. Nous avons installé le capteur Raspberry Pi HQ Camera, relié à un Raspberry Pi 4. L'ensemble est piloté par une application dédiée, accessible via un smartphone ou une tablette connectée en Wi-Fi. Pour le support, nous avons opté pour un trépied photo et d'une monture altazimutale AZ-Pronto.

Le matériel nécessaire à la réalisation du SUNSCAN, les fournisseurs, les instructions de montage et de réglage sont très bien documentées sur le site <https://www.sunscan.net/>.

La réalisation de *SUNSCAN* a coûté environ 1000 € (entièrement financé par la SRBA), la moitié pour le kit optique, un quart pour l'électronique, un quart pour la partie mécanique. Ce coût peut sembler important surtout pour une utilisation scolaire, cependant il est à relativiser si l'on compare les différentes solutions pour observer le Soleil. *SUNSCAN* est une solution complète qui ne nécessite ni télescope, ni monture avec suivi, ni camera de prise de vue.

Réglages optiques et premiers tests

L'assemblage terminé, plusieurs réglages ont été nécessaires :

- Mise au point de la caméra
- Réglage de la position de la lentille collimatrice
- Mise au point de la lentille de l'objectif sur la fente
- Sélection du champ spectral observé, en fonction de l'orientation du réseau

Des **premiers essais** nous ont permis de capturer des spectres nets dans la raie $H\alpha$ et d'extraire des images monochromatiques du Soleil.

3.2 Conditions d'observation

Pour obtenir une image exploitable avec le *SUNSCAN*, une condition essentielle est évidemment la visibilité directe du Soleil. Néanmoins, l'instrument se montre relativement tolérant vis-à-vis des conditions météorologiques : il est tout à fait possible de réaliser des observations entre les nuages, ou à travers un léger voile de cirrus, même si cela peut nécessiter d'écarter certaines images de moindre qualité.

Cette souplesse météorologique, combinée à la rapidité de mise en œuvre du *SUNSCAN* (quelques minutes seulement entre l'installation et la capture), constitue un véritable atout dans notre climat tempéré, souvent nuageux. Elle permet notamment de réaliser des séries temporelles d'observations sur plusieurs jours, même lorsque le ciel n'est pas parfaitement dégagé.

Cependant, la turbulence atmosphérique (seeing) reste un facteur limitant : elle peut entraîner des déformations de l'image, du flou ou des stries dues aux mouvements rapides de l'air, d'autant plus que les captures sont relativement longues. Il est donc pré-

férable de choisir un moment calme (matin sans vent) et un lieu dégagé et stable thermiquement pour optimiser la qualité des images.

3.3 Acquisition des images et traitement

Avant de débiter une acquisition, plusieurs étapes de préparation sont nécessaires.

Le trépied doit d'abord être installé sur un sol stable, en veillant à minimiser les vibrations pendant la capture. La monture doit être mise de niveau. Le *SUNSCAN* est ensuite fixé sur la monture alt-azimutale, puis alimenté. Il génère automatiquement un réseau Wi-Fi, auquel on connecte un smartphone équipé de l'application *SUNSCAN*.

Un viseur solaire placé sur le côté de l'instrument permet d'orienter précisément l'objectif vers le Soleil à l'aide des molettes de la monture. Dès que le spectre solaire s'affiche sur l'écran du smartphone, il faut sélectionner et centrer la raie spectrale d'intérêt (par exemple $H\alpha$, Ca-K ou Na) en ajustant avec précision l'orientation du réseau de diffraction via une molette dédiée.



Fig 3 : Visualisation du spectre solaire (raie $H\alpha$) depuis notre smartphone (crédit : STAROS projects).

Deux réglages fins sont ensuite indispensables :

- Réglage de la caméra : optimiser le contraste, la finesse des raies et la netteté des bords solaires, en ajustant le gain et le temps d'exposition.
- Mise au point optique : affiner la focalisation de l'image du Soleil dans le plan de la fente, pour obtenir un spectre net aux bords tranchés (Figure 3).

Une fois ces paramètres correctement ajustés, le Soleil est déplacé hors du champ de la fente, en manipulant la monture. L'acquisition de la vidéo est alors lancée. Grâce à la rotation de la Terre, le Soleil repasse naturellement devant la fente, ce qui permet d'enregistrer ligne par ligne l'image souhaitée.

Le nano-ordinateur Raspberry Pi embarqué dans le *SUNSCAN* traite ensuite la vidéo (en quelques dizaines de secondes) et produit automatiquement plusieurs types d'images :

- Image en cœur de raie
- Dopplergramme
- Image en continuum (utile pour visualiser les taches solaires)
- Image en mode «éclipse» virtuelle

Ces images sont directement consultables sur le smartphone. Les vidéos brutes et les images traitées sont enregistrées sur la carte SD du *SUNSCAN* et peuvent être téléchargées via Wi-Fi pour une analyse ultérieure.

4. Observation du soleil

4.1 Raies spectrales observées

Le *SUNSCAN* permet d'explorer une large portion du spectre solaire, allant de 400 à 700 nanomètres, soit le spectre visible. Ce domaine comprend de nombreuses raies d'absorption (Figure 4) caractéristiques d'éléments présents dans l'atmosphère solaire.

Nous avons ainsi obtenu des images du Soleil dans différentes longueurs d'onde bien connues (Figure 5) :

- H α (Hydrogène alpha – 6562,81 Å),
- Na D1 & D2 (Sodium – 5895,92 Å et 5889,95 Å),
- He D3 (Hélium – 5875,62 Å)
- Mg b1, b2, b3 (Magnésium – autour de 5170 Å),
- H β (Hydrogène bêta – 4861,32 Å),
- Ca-K et Ca-H (Calcium – 3933,66 Å et 3968,47 Å).
- Continuum et Doppler (via des décalages par rapport à la raie H α),

Chacune de ces raies permet de sonder des couches différentes de l'atmosphère solaire (Tableau 1), car elles se forment dans des conditions physiques spécifiques

(température, pression, densité, champ magnétique...).

4.2 Produits d'analyse obtenus à partir des images H α

L'observation de la raie H α (656,28 nm) avec le *SUNSCAN* permet d'obtenir une image en cœur de raie, centrée précisément sur cette longueur d'onde. Cette image révèle de manière optimale les structures de la chromosphère solaire, telles que les filaments, plages actives, et régions brillantes. Elle constitue la base des autres analyses.

Une image en mode «éclipse virtuelle», obtenue par traitement numérique, permet de masquer le disque solaire et de faire apparaître les structures en bord de limbe, comme les protubérances et les spicules, qui sont des manifestations dynamiques de la chromosphère.

En explorant les zones adjacentes à cette raie H α , il est possible de générer différentes images :

- Un dopplergramme, produit par soustraction de deux images légèrement décalées par rapport au centre de la raie (environ $\pm 0,3$ Å, soit 3 pixels), met en évidence la rotation du Soleil, grâce à l'effet Doppler.
- Une image de type conti-

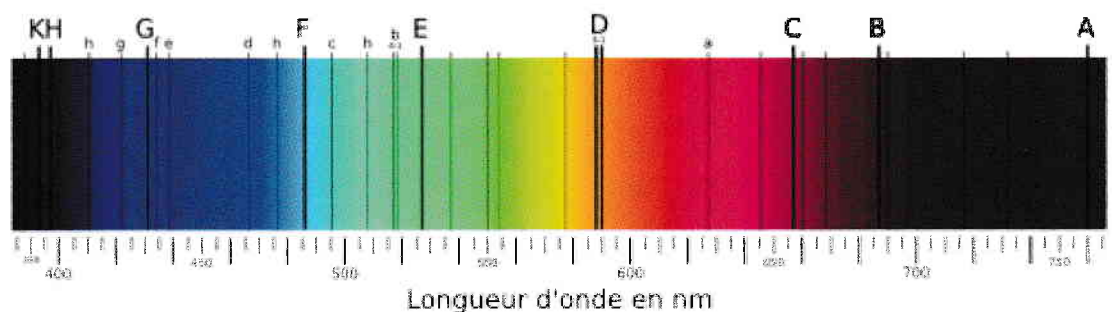


Fig 4 : Spectre solaire avec superposé un certain nombre de raies d'absorption repérées par des lettres (en minuscules et majuscule). Les longueurs d'onde sont données en nanomètre

(Crédit : Thermos, via Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0.) [11].



Fig 5 : Quelques images du Soleil à différentes longueurs d'onde, obtenues avec le SUNSCAN.

num, obtenue par un décalage plus important (typiquement $-1,6 \text{ \AA}$, soit 16 pixels vers le bleu), permet d'accéder à la photosphère solaire. Cette image est particulièrement utile pour observer les taches solaires, que nous avons utilisées pour mesurer la période de rotation du Soleil.

Ainsi, à partir d'une seule acquisition spectrale autour de la raie $H\alpha$, le SUNSCAN permet de générer plusieurs représentations complémentaires du Soleil.

4.3 Observation des phénomènes solaires

Les différentes images obtenues avec le SUNSCAN nous ont permis d'observer de nombreux phénomènes solaires caractéristiques.

Dans le continuum et les images décalées de la raie $H\alpha$, on distingue bien les taches solaires, régions plus sombres de la photosphère où une intense activité magnétique freine la remontée de chaleur, entraînant une température légèrement plus basse.

On observe également des filaments, zones plus brillantes que

la moyenne, visibles en bord de disque.

Les images $H\alpha$ (Figure 6), centrées sur la chromosphère, révèlent une grande variété de structures :

- filaments et plages actives à la surface,
- spicules et protubérances sur le limbe, particulièrement visibles en mode éclipse virtuelle.

Enfin, les images prises dans la raie du calcium (Ca-K) (Figure 7)



Fig 6 : Soleil observé avec SUNSCAN dans la raie $H\alpha$.

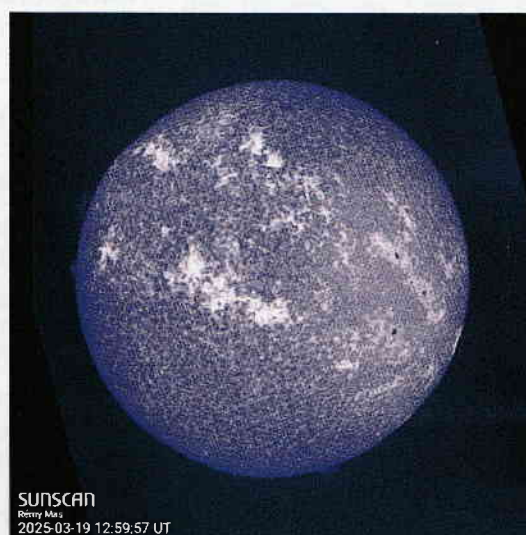


Fig 7 : Soleil observé avec SUNSCAN dans la raie Ca-K.

mettent en évidence les plages actives et les facules (en émission), ainsi que les taches solaires (en absorption), offrant une autre perspective sur les régions actives du Soleil.

4.4 Intérêt des observations multi-raies

Observer le Soleil dans plusieurs raies spectrales permet d'explorer ses différentes couches atmosphériques. Chaque raie correspond à un élément chimique visible dans une zone spécifique du Soleil, selon les conditions physiques locales (température, pression, champ magnétique) (Figure 8).

Par exemple :

- le continuum révèle la photosphère,
- les raies du Na, Ca, Mg et H β explorent la transition vers la chromosphère,
- la raie H α montre la chromosphère (fils, plages, protubérances...),
- la raie de l'hélium (He I) accède à la haute chromosphère.

Cette diversité d'images permet une lecture en profondeur de l'atmosphère solaire, en reliant altitude, structures visibles et phénomènes physiques.

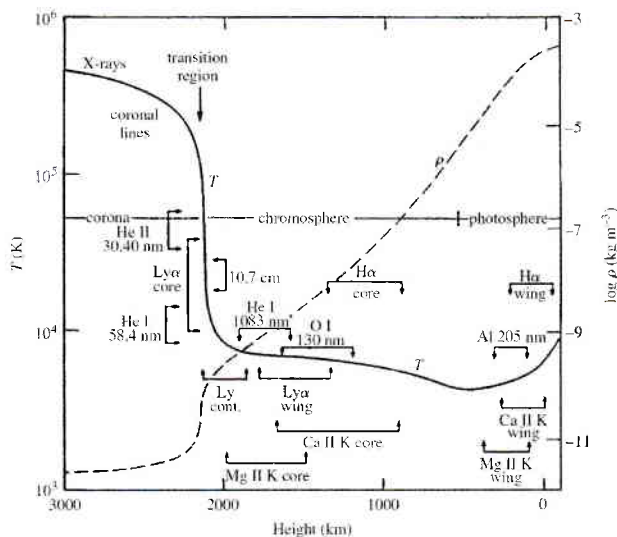


Fig 8 : Représentation logarithmique de la température (ligne pleine) et de la densité de masse (ligne pointillée) dans les couches supérieures de l'atmosphère solaire (crédit : Carroll & Ostlie (2007)).[12]

5. Mesurer la rotation du Soleil par suivi des taches solaires

5.1 Rotation du soleil et mesure

Le Soleil effectue une rotation sur lui-même, mais contrairement à une planète solide, il ne tourne pas comme un bloc rigide : sa rotation est dite différentielle, c'est-à-dire qu'elle varie selon la latitude.

Notre objectif était de suivre le déplacement de taches solaires

visibles sur plusieurs jours à la surface de la photosphère, afin d'en déduire la période de rotation du Soleil aux latitudes des taches.

5.2 Acquisition et traitement des images

Nous avons obtenu plusieurs images du Soleil dans le continuum, à raison d'une par jour. Ces images (Tableau 2) montrent clairement les taches solaires. Nous avons pu comparer facilement la position d'une même tache d'un jour à l'autre.

5.3 Mesure et calcul de la période de rotation

Durant la période, du 5 au 9 mars 2025, trois régions actives bien identifiées, associées à des groupes de taches solaires, étaient visibles sur nos images :

- AR14012 (vers 13° de latitude Sud),
- AR14016 (environ 25° de latitude Sud),
- AR14018 (environ 21° de latitude Sud).

Chacune de ces régions a pu être suivie pendant au moins quatre jours consécutifs, ce qui a permis de déterminer des vitesses angulaires de rotation.

Méthode employée

Nous avons commencé par mesurer les coordonnées cartésiennes des taches sur les images avec le logiciel GeoGebra[13], en prenant comme référence le disque solaire visible.

Raie	Zone d'émission/absorption dominante	Phénomènes observés
Continuum	Photosphère	Taches solaires, facules
Mg / Na / Ca / H β	Transition photosphère – chromosphère	Plages actives, réseau chromosphérique
Ca-K et Ca-H	Basse chromosphère	Facules, réseau chromosphérique, plages actives, taches solaires
H α	Chromosphère moyenne	Filaments, protubérances, flares, plages actives, spicules
He D3	Haute chromosphère	Protubérances, spicules

Tableau 1 : Raies observées et zone atmosphérique du soleil et phénomènes concernés.



Tableau 2 : Série temporelle d'images du soleil dans le continuum obtenues avec SUNSCAN entre le 5 et le 9 mars 2025 (de gauche à droite).

Cependant, l'inclinaison de l'axe de rotation solaire dans notre champ de vision impose une correction. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel *Hélio*[14], qui permet de transformer les coordonnées cartésiennes en coordonnées héliographiques (longitude et latitude solaires), en tenant compte de l'orientation du Soleil à chaque instant d'observation (Tableau 3).

À partir des longitudes héliographiques, nous avons calculé le déplacement longitudinal relatif pour chaque jour, en tenant compte de l'heure d'acquisition. Le déplacement latitudinal, très faible, a été négligé.

En rapportant le déplacement angulaire à l'intervalle de temps écoulé, nous avons pu estimer la vitesse angulaire de rotation sidérale de chaque région, puis la période de rotation correspondante (Tableau 4).

	Période de rotation sidérale (en Jours)	
	Nos résultats	Bass2000
AR14012	25,1	24,6
AR14016	27,1	25,9
AR14018	28,8	27,8

Tableau 4 : Périodes de rotation déterminées sur base de nos images et comparées avec les périodes calculées à partir des données de position de Bass2000.

	5/3/2025	6/3/2025	7/3/2025	8/3/2025	9/3/2025
	12:40	12:51	12:32	12:06	11:48
AR 14012					
Latitude	-12	-13	-13	-13	-13
Longitude	298	299	300	301	302
L_0	321	307	294	281	268
Longitude relative	-23	-8	6	20	34
AR 14016					
Latitude	-26	-26	-25	-25	-25
Longitude	277	279	278	279	278
L_0	320	307	294	281	268
Longitude relative	-43	-28	-16	-2	10
AR 14018					
Latitude	-	-21	-21	-21	-20
Longitude	-	238	236	236	235
L_0	-	307	294	281	268
Longitude relative	-	-69	-58	-45	-33

Tableau 3 : Données obtenues pour les trois régions actives.
Remarque : L_0 est la longitude du méridien central

Nos résultats se rapprochent bien de ceux calculés par la même méthode en utilisant les positions de la base de données *BASS2000*[15] pour les mêmes régions et les mêmes dates. Nous observons une surestimation de moins d'un jour, ce qui reste raisonnable compte tenu des marges d'erreur liées au positionnement manuel et à la résolution limitée des images.

Limites et perspectives

Nos données ne permettent pas de mettre en évidence la rotation différentielle du Soleil en fonction de la latitude, car les incertitudes restent trop importantes pour différencier clairement les vitesses des différentes régions.

Une analyse plus poussée serait nécessaire pour quantifier avec précision l'incertitude de mesure, en étudiant par exemple les effets du seeing, la résolution angulaire des images, ou l'erreur dans la détermination de la position des taches. Une telle étude dépasse cependant le cadre de notre projet.

Conclusion

Nous sommes cependant satisfaits, en tant qu'élèves de secondaire, d'avoir pu mener à bien cette mesure astronomique complexe à partir d'images que nous avons nous-mêmes capturées, en utilisant un spectrohéliographe *SUNSCAN* que nous avons assemblé, réglé et exploité. Cette démarche nous a permis de relier des observations concrètes à des

phénomènes astrophysiques fondamentaux.

5.4 Confirmation qualitative par effet Doppler

En complément de l'analyse du déplacement des taches, nous avons exploité les dopplergrammes (Figure 9) générés à partir de la raie $H\alpha$. En appliquant un décalage spectral de $\pm 0,3 \text{ \AA}$ autour du centre de la raie $H\alpha$, nous avons obtenu deux images correspondant respectivement à la partie bleue et à la partie rouge du spectre. La soustraction de ces deux images permet de faire apparaître un gradient est-ouest sur le disque solaire.

Cette représentation permet de visualiser qualitativement la rotation du Soleil :

- le bord est du disque où les atomes se rapprochent de nous sont décalées vers le bleu,
- le bord ouest où ils s'éloignent de nous apparaît en rouge ce qui correspond bien au sens de rotation attendu.

Cependant, cette méthode ne nous permet pas d'obtenir une mesure quantitative fiable de la vitesse de rotation. Les conditions d'acquisition, la

précision du réglage spectral, et les phénomènes atmosphériques peuvent affecter l'interprétation fine de ce type de dopplergramme. Nous retenons donc cet outil comme une confirmation visuelle et pédagogique du sens de rotation, mais non comme une méthode de mesure.

5.5 Une ouverture vers le cycle solaire

Lors de nos observations en mars 2025, de nombreuses taches solaires étaient visibles à la surface du Soleil. Des observations régulières avec un instrument comme *SUNSCAN* sur plusieurs années permettraient de mettre en évidence le cycle solaire :

- en suivant l'évolution du nombre de taches au fil du temps,
- en observant leur migration latitudinale,
- et en participant ainsi à une base d'observation à long terme, comme cela se fait depuis plus de 400 ans.

6. Des perspectives scientifiques enthousiasmantes

Notre exploration avec le *SUNSCAN* ne marque pas une fin. Ce projet ouvre la voie à de nombreuses pistes d'approfondissement :

- Observer directement la photosphère sans réseau de diffraction, afin de comparer ces images à celles obtenues par décalage spectral (continuum $H\alpha$), et peut-être gagner en résolution.
- Utiliser un spectrohéliographe Sol'Ex, afin de capter d'autres couches de l'atmosphère solaire, notamment la

base de la couronne solaire (émission Fe XIV).

- Expérimenter la mise en évidence du champ magnétique solaire via l'effet Zeeman, toujours avec Sol'Ex.
- Mettre en place des collaborations entre établissements scolaires à l'échelle nationale ou internationale, pour effectuer un suivi continu du Soleil depuis différents lieux avec des instruments identiques.
- Étendre l'usage de *SUNSCAN* à d'autres contextes pédagogiques (étude de spectres de sources lumineuses ou de liquides) dans l'esprit du projet Lab'Ex[16].

7. Conclusion et remerciement

Le projet *SOLARIS* a permis à notre équipe de concevoir et d'utiliser un spectrohéliographe *SUNSCAN* pour observer le Soleil dans plusieurs raies spectrales, révélant ainsi toute la richesse et la dynamique de notre étoile.

Au-delà des résultats « scientifiques », cette aventure nous a profondément marqués, et nous espérons qu'elle donnera envie à d'autres jeunes passionnés de se lancer dans des projets scientifiques ambitieux et motivants.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à la Société Royale Belge d'Astronomie (SRBA), au Prix Lucie Dekeyser (CLA), ainsi qu'au jury et aux organisateurs de Science-Expo, pour leur soutien, leur confiance et leur reconnaissance.

Nous remercions également chaleureusement l'équipe *STAROS*, à l'origine du *SUNSCAN*, pour la mise à disposition de cet outil pédagogique innovant, ainsi que pour leur aide technique et leur engagement en faveur de la diffusion des sciences.

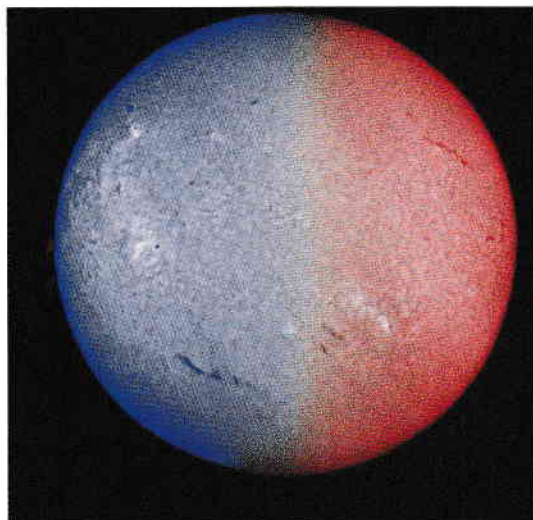


Fig 9 : Dopplergramme obtenu avec *SUNSCAN* et l'application Sol'Ex.

Références :

- 1 Conférences des rencontres du ciel et de l'espace
<https://www.afastronomie.fr/derniere-minute>
- 2 Qu'est-ce que c'est ? SUNSCAN <https://www.sunscan.net/fr>
- 3 Team S. STAROS Projects <https://staros-projects.org>
- 4 Sol'Ex : présentation <https://solex.astrosurf.com/>
- 5 Home <https://buil.astrosurf.com/index.html>
- 6 Science-Expo Belgique – 27 & 28 mars 2026 ~ UCLouvain, Woluwe
<https://science-expo.be/>
- 7 Institut de l'enfant Jésus <https://www.iejn.be/lycee/>
- 8 La spectro, le site d'Olivier GARDE <http://o.garde.free.fr/astro/Spectro1/Bienvenue.html>
- 9 Annonce pour les professeurs – SRBA.BE
<https://www.srba.be/grand-prix-lucie-dekeyzer/annonce-pour-les-professeurs/>
- 10 Sol'Ex : observation <https://solex.astrosurf.com/sol-ex-observation.html>
- 11 Raies de Fraunhofer. In: Wikipédia
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Raies_de_Fraunhofer&oldid=227923884
- 12 The Sun — ASTR4410 Modern Astrophysics
https://saturnaxis.github.io/ModernAstro/Chapter_10/sun.html
- 13 GeoGebra Classic 5 <https://www.geogebra.org>
- 14 Meadows P. Helio <https://www.petermeadows.com/html/software.htm>
- 15 BASS2000 - Base de données solaire <https://bass2000.obspm.fr/home.php>
- 16 Banc test spectro <http://o.garde.free.fr/astro/Spectro1/LabEx.html>