

## Au Pic du Midi, la tête dans les étoiles

David Darson est ingénieur de recherche au Laboratoire de Physique de l'Ens Paris. La conception, la réalisation et la valorisation d'un nouveau type d'alimentation programmable très bas bruit haute précision lui a valu d'obtenir le Cristal du CNRS 2012. Aujourd'hui, il travaille sur une caméra infrarouge HDR (à très haute dynamique<sup>1</sup>) intéressant, parmi d'autres, des applications en astronomie. C'est dans ce cadre qu'il s'est rendu, en octobre 2018, en mission d'observation à l'Observatoire du Pic du Midi, au sein de la Station de Planétologie des Pyrénées, avec François Colas, chercheur de l'Observatoire de Paris (IMCCE<sup>2</sup>). Retour sur une expérience en altitude, la tête dans les étoiles.

### **#01 – 30/09-01/10/18 – L'observatoire des étoiles**

Il est 16 heures en ce dernier dimanche de septembre et nous roulons depuis environ huit heures quand, nappé d'un nuage, il apparaît dans notre champ de vision... Le Pic du Midi, et son Observatoire planté à son sommet, se dresse devant nous comme une promesse : celle de nouvelles observations astronomiques avec la caméra infrarouge HDR que j'ai conçue.

Nous traversons le village de Campan où les dernières Mounaques qui peuplaient la ville depuis juillet sont décrochées. Ces étranges poupées de chiffon à taille humaine font référence à un ancien rituel de la commune. Accrochées aux maisons de ceux qui choisissaient de se marier en dehors des convenances et remettaient en cause les lois de l'héritage, elles illustraient le mécontentement des villageois. Seules quelques-unes de ces silhouettes en tissu flottent encore dans le village, participant d'une ambiance particulière... Les Pyrénées sont des terres de rites et de croyances. Nous ne sommes pas loin de Lourdes, lieu de pèlerinage s'il en est, abritant la grotte où Bernadette Soubirous a vu les apparitions de la Vierge en 1858. Alors que le clergé jouait, grâce à l'histoire de cette jeune fille devenue légende, la carte d'un catholicisme populaire qui serait la fusion réussie du merveilleux pyrénéen traditionnel et d'une spiritualité catholique en plein renouveau, commençait la construction de l'Observatoire du Pic du Midi, lieu extraordinaire dédié à la science. Et d'abord à la météorologie. A 2877 mètres d'altitude, les premiers locaux ont été achevés le 8 septembre 1882. En 1907 fut montée une lunette de 50 cm de diamètre, l'un des plus grands instruments au monde pour l'époque, qui permit en 1909 de démentir l'existence de canaux sur Mars en propulsant l'observatoire à la pointe de la recherche en astronomie. Le site a été menacé de fermeture à plusieurs reprises au cours de l'histoire, mais grâce à la mobilisation de la communauté scientifique, au soutien de citoyens et d'élus, et à la persévérance du syndicat mixte en charge, l'observatoire du Pic du Midi est encore aujourd'hui un haut lieu d'observation et de recherche. La partie scientifique du site est rattachée à l'Observatoire Midi-Pyrénées. Si le Pic du Midi est toujours en activité, c'est grâce à une symbiose assumée et réussie entre grand public (activités touristiques et astronomiques accessibles, installations dédiées) et recherche scientifique.

J'ai déjà eu la chance de tester dans ce lieu sensationnel ma caméra sur le télescope de 1 mètre, dit T1m, niché sous la coupole Gentilly, piloté par François Colas, qui a fondé sur place la Station de Planétologie des Pyrénées dédiée à l'étude de notre système solaire, des météores aux planètes. Nous sommes partis ensemble de mon laboratoire parisien à 7 heures ce matin, après avoir chargé dans la voiture la caméra

---

<sup>1</sup> HDR : High Dynamic Range, ou très haute dynamique. On entend par haute dynamique pour une caméra, sa capacité, sur une même image, à rendre simultanément des zones de très faibles et de très forte luminosité. (ainsi que toutes les luminosités intermédiaires)

<sup>2</sup> Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides

et ses éléments, ainsi que la logistique technique, les pièces de rechange, l'informatique... Dix heures plus tard, la cabine du téléphérique reliant La Mongie à l'observatoire, chargée de matériel et de victuailles, s'élance vers le Pic du Midi à travers quelques nuages. Les deux tronçons du téléphérique et les 1400m de dénivelé nous séparant du sommet sont avalés en quelques minutes. Je suis à chaque fois saisi par la beauté de cette ascension, en même temps que parcouru par l'épuisement du voyage et l'excitation à l'idée des observations à venir. Cet équilibre entre fatigue, travail et moments contemplatifs lié à la majesté du site sera mon lot quotidien pendant la semaine de mission. L'altitude et le manque d'oxygène pourront jouer aussi sur l'état général, provoquant parfois maux de tête et vertiges... ceux-ci disparaîtront, normalement, passées les premières 24 heures. Le sentiment de participer à une expérience inédite dans un lieu privilégié demeurera.

Arrivés en haut, nous prenons possession de nos lieux de travail et de vie: le laboratoire où nous déposons tout le matériel, ensuite le centre névralgique du T1m dit "control room" où les ordinateurs sont raccordés au télescope, qui se trouve dans la pièce au-dessus, puis plus loin, la cuisine, et enfin les chambres.

Après un rapide café, nous nous rendons, François et moi, sous la coupole Gentilly, pour découvrir le télescope de ses protections, le sortir de son sommeil et vérifier que tout fonctionne bien (il n'a pas été utilisé depuis quelques semaines). Les quatre tonnes de métal de ses assemblages mécaniques (monture et tube) ainsi que les 400 kilos de verre de son miroir se mettent en mouvement au gré des différents tests : tout semble parfait. Il s'agit ensuite de monter la caméra pour pouvoir la placer sur la platine instruments (dit foyer Nasmyth) qui la raccordera au télescope.

François Colas, en plus d'être astronome, directeur de recherche à l'IMCCE de l'Observatoire de Paris ayant en charge le T1m du Pic du Midi, est le créateur et le porteur du projet FRIPON, acronyme pour Fireball Recovery Interplanetary Observation Network (en français : Réseau de recherche de bolides et de matière interplanétaire). FRIPON a déployé sur tout le territoire français plus de 100 caméras à 180° (dites Fish-eye) et 25 récepteurs radio, pour repérer les météores. Son succès est tel, qu'il s'étend à présent, au-delà, sur l'Europe. Ce réseau, déjà en fonctionnement, a pour objectif de déterminer les trajectoires, les paramètres de rentrée atmosphérique et d'évaluer la plupart des caractéristiques physique de ces objets extraterrestres, ainsi que leur orbite originelle. Il devient alors possible de définir s'il s'agit d'une météorite (météore allant percuter le sol) et d'en délimiter la zone d'impact pour ensuite partir à sa recherche. Ceci, afin de la récupérer avant toute contamination/altération par des éléments terrestres.

Au Pic, la Station de Planétologie des Pyrénées et son télescope servent à une veille et une étude constante de l'ensemble des objets, plus ou moins gros (astéroïdes, comètes, satellites, planètes...), et des phénomènes de notre système solaire. Le télescope T1m étant versatile, François peut changer de programme pour s'adapter au mieux aux conditions d'observation et à la priorité des programmes. Ainsi il peut réaliser un travail de surveillance de Saturne, notamment au niveau des traceurs de vent qui permettent de (sa)voir quand les tempêtes se déclarent et de qu'elle façon elles évoluent. Une tempête en cours, proche du pôle de Saturne, sous plus de 65° de latitude, retiendra d'ailleurs notre attention durant cette semaine. Sur Jupiter aussi, l'observation régulière amène à recueillir différentes informations : François peut ainsi observer la "météo" de la planète. Lorsqu'il s'agit des planètes, François laisse le suivi de l'objet étudié aux bons soins de la précision mécanique du télescope et de sa massive monture le portant et l'entraînant. Pour les astéroïdes, les comètes et autres objets à faible luminosité, il utilise une caméra de guidage reliée à la monture pour l'asservir et ainsi autoriser de longues poses sans défaut de "bougé" pendant les expositions.



Les caméras utilisées pour observer le ciel travaillent soit dans le visible – elles traitent alors les mêmes longueurs d'onde que l'œil humain –, soit dans l'infrarouge. L'infrarouge, comparé au visible, permet d'étudier des caractéristiques physiques inaccessibles : chaque longueur d'onde est en effet porteuse d'une information sur la matière qui a émis la lumière récupérée par le télescope. L'infrarouge permet également de "voir" au travers de nuages de poussières fines qui sont opaques dans le visible. J'ai pu profiter de cette propriété pour pouvoir découvrir la surface de Mars en juillet dernier, malgré la tempête de sable planétaire qui y faisait alors rage. Ou bien encore pour plonger en profondeur dans les nuages de poussières interstellaires du cœur de la nébuleuse d'Orion, révélant des étoiles naissantes cachées dans leur cocon.

Les caméras scientifiques, qu'elles travaillent dans l'infrarouge ou dans la lumière visible, utilisent, à l'instar de nos appareils photo, un mode d'acquisition d'images exploitant la technologie HDR : celle-ci permet, grâce à la combinaison de plusieurs images prises avec des temps de pose plus ou moins longs, de faire figurer sur un même cliché des zones à forte luminosité et des zones à faible luminosité. Mais elle présentait jusqu'ici un inconvénient : pour obtenir une seule image, il fallait enregistrer toutes les images intermédiaires, ce qui est très gourmand en ressources (mémoire, calculs) tout en proposant au final une dynamique limitée.

La caméra infrarouge HDR que j'ai créée il y a un an et demi au Laboratoire de Physique de l'Ens (en partenariat avec un ingénieur qui a dessiné l'enceinte et l'atelier mécanique) à partir du détecteur de la société française NIT (New Imaging Technologies) suit une tout autre approche : elle choisit les temps de pose nécessaires pixel par pixel, et ce, "au fil de l'eau", pendant toute la durée de la prise de vue. Et les faibles et fortes luminosités figurent sur un seul et même cliché, sans avoir besoin de combiner (et de stocker) plusieurs images intermédiaires.

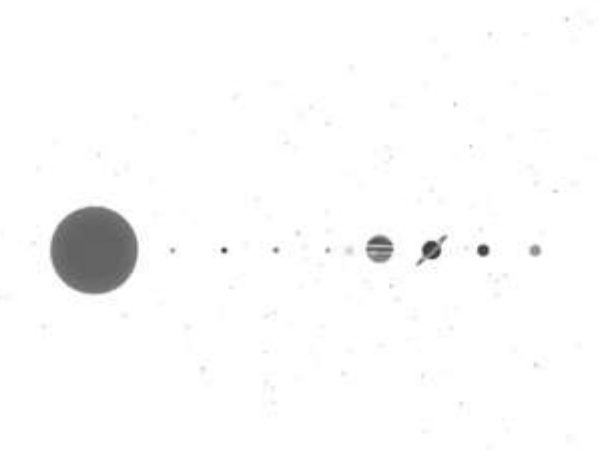
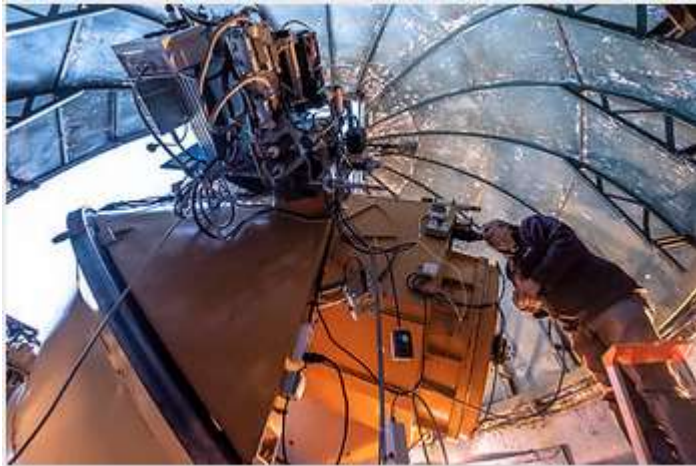
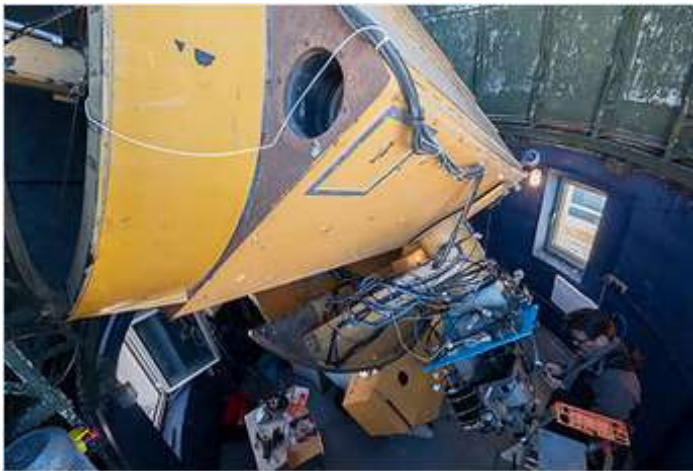
Autre avantage de ma caméra : même quand le signal lumineux augmente de façon spectaculaire, le détecteur ne sature pas, car il fonctionne alors comme l'œil humain, selon un mode logarithmique : plus le signal lumineux est fort, moins la réponse du détecteur (électronique ou humain, donc) augmente vite. Ainsi, nous pouvons regarder (brièvement) le Soleil de face tout en continuant de voir le ciel bleu juste à côté, quand l'image prise avec notre appareil photo numérique apparaîtra, elle, blanche et saturée...

Au chaud dans la control room sous le télescope je finalise le montage des différents éléments de la caméra qui avaient été conditionnés pour le voyage. Je sélectionne ensuite les filtres et les monte sur le carrousel de la roue à filtres. Ils serviront à observer dans les différentes longueurs d'ondes souhaitées de l'infrarouge. Une demi-heure suffit, ensuite, pour installer la caméra sur le télescope, alors que la nuit et la température tombent déjà.

Le départ de Paris semble déjà si loin, la fatigue et les appétits se creusent en ce début de soirée... Je profite d'un petit moment de calme pour rejoindre François dans la cuisine où nous dînons. Mais, la nuit s'annonçant belle et dégagée, l'impatience des premières observations prend le pas sur toute autre chose et nous rejoignons bien vite la control room et les ordinateurs reliés au télescope. François prend les coordonnées de Saturne, avant de monter au télescope lui-même réaliser son pointage.

François est un astronome au sens ancien et noble du terme, effectuant des observations sur le terrain, que ce soit au Pic du Midi ou à d'autres endroits sur Terre, pour le suivi d'occultation d'étoiles par les astéroïdes, entre autres. Il dépouille ensuite les données récoltées qui servent de base à ses recherches. Il règle toujours le T1m en utilisant des cartes du ciel informatisées pour définir les coordonnées de l'objet à observer, qu'il reporte ensuite sur les cercles gradués de la monture du télescope. Enfin, les commandes de position du T1m dans une main, il monte regarder au travers d'une lunette offrant un faible grossissement mais un vaste champ visuel, placée en parallèle du télescope appelé chercheur. Grâce à son réticule il parvient à centrer l'objet souhaité, qui peut alors être admiré, à travers le T1m lui-même et la caméra montée à son foyer. Là où la majorité des télescopes sont assistés informatiquement,

François fait tout de tête, à l'œil et à la main, avec une efficacité redoutable... L'observation en temps réel est de moins en moins pratiquée par les astrophysiciens, les plages de disponibilités sur les gros instruments internationaux étant courtes, et les observations programmées longtemps à l'avance. De voir ainsi François œuvrer dans sa coupole ouverte sur le ciel et arpenter les confins de notre système solaire me procure toujours énormément d'admiration.



21h30 : les premières images de Saturne arrivent sur mon ordinateur, elles sont plutôt bonnes, si l'on considère la présence de vent et de quelques nuages. Néanmoins, vers minuit, des cirrus, nuages aux allures de filaments blancs rappelant des cheveux d'ange, commencent à apparaître et à envahir le ciel par le nord-ouest, poussés par des vents de haute altitude. L'image qui m'arrive ensuite de Mars est assez mauvaise, avec cette turbulence qui ne cesse d'augmenter. Je commence à traiter les images de Saturne déjà capturées, pendant que François prend un peu de repos. Vers 3h15 il se relève et nous prenons quelques minutes pour faire un point météo en passant en revue l'ensemble des modèles de prévision à courtes échéances, et les animations satellites. Verdict : la dégradation nocturne semble inexorable, les nuages s'installent durablement, éclairés par un dernier quartier de Lune. François décide d'aller se recoucher pour de bon après avoir traité quelques mails et les alertes courantes du réseau FRIPON.

Je veille également encore un peu, en avançant sur du travail en attente pour la future version de la caméra. Ces efforts de veille, malgré près de vingt-deux heures ininterrompues dont dix d'un long voyage en voiture, sont essentiels pour habituer mon corps et mon esprit au manque de sommeil et au "décalage horaire" du Pic. Lors des prochaines nuits, le ciel devrait être dégagé et il faudra être d'attaque : aussi bien la nuit pour les observations que le jour pour les interventions techniques et les premières analyses des images capturées. Le rythme idéal est alors de dormir par petites périodes, de 20 à 40 minutes, ou de 1 heure 30 à 2 heures réparties sur chaque 24h. Cela offre rarement plus de 5 à 6 heures de sommeil en tout. Pour ma part, l'excitation des observations et des résultats à dépouiller ne me permettront jamais de dépasser les 5 heures.

## **#02 – 01-02/10/18 – L'attente**

Mon objectif sur cette mission est de faire un maximum de nouvelles acquisitions avec les meilleures conditions météo possible. Ensuite, il faudra que je les traite, pour optimiser les performances de la caméra. Une partie de mon métier consiste à "chasser le bruit", qui correspond à tout élément indésirable qui s'ajoute au signal lumineux. Il peut être d'origine électronique, thermique, mécanique, météorologique (turbulence...)

Concernant le bruit thermique, on peut le limiter par refroidissement. Le prochain prototype de la caméra intégrera un "cryocooler" qui sera encore plus efficace que le système actuel. En dehors de tous ces bruits propres à la caméra, restent les perturbations de l'environnement du télescope et des conditions expérimentales. Ainsi, en dehors de mouvements mécaniques indésirables, très rares tant la stabilité du télescope est grande, restent Concernant les phénomènes de turbulences atmosphériques, ce sont les variations locales des caractéristiques qui créent des inhomogénéités et brouillent la qualité de l'image. On peut observer facilement ce phénomène à une autre échelle quand on observe un paysage au-dessus d'une source de chaleur, comme une route en été. La présence ou non de vent, de nuages, d'intempéries, etc., impactent de la même manière la qualité des images astronomiques. On a donc intérêt à observer un objet lorsqu'il est au plus haut dans le ciel, pour que son signal lumineux traverse le moins d'atmosphère possible. Comme le soleil, les astres sont le plus haut sur l'horizon lorsqu'ils passent au sud c'est à dire au méridien. C'est pourquoi, d'après la configuration qu'elles occupent en ce moment par rapport à la Terre et notre lieu d'observation, nous avons choisi de pointer Saturne, puis Mars, puis Uranus, pour optimiser la qualité de nos mesures.

Le bruit peut aussi être lié à la pollution lumineuse issue de l'éclairage artificiel nocturne, qui empêche de détecter les signaux de très faible luminosité. Cette pollution lumineuse reste faible au Pic du Midi : ici, le ciel est si pur qu'il a été labellisé Réserve Internationale de Ciel Etoilé (RICE) par l'International Dark-sky Association. C'est donc bien un lieu privilégié.

Mais la pollution lumineuse n'est plus uniquement une question d'étoiles, elle pointe également des enjeux culturels, environnementaux (gaspillage d'énergie, désorientation des animaux) et économiques

(gaspillage d'énergie). Plus qu'un simple objet d'étude scientifique, le ciel est aujourd'hui valorisé et protégé en tant que patrimoine naturel et culturel. La RICE protège et préserve la nuit à travers l'éducation du public et la mise en place d'un éclairage responsable. A travers ce label, la nuit est alors protégée et reconnue comme exceptionnellement pure. Le territoire de la RICE du Pic du Midi regroupe 247 communes engagées et s'étend sur 65% des Hautes-Pyrénées, soit 3 300 km<sup>2</sup>.

En ce lundi matin, après un peu de temps passé au traitement des données, nous descendons, François et moi, dans la vallée pour le ravitaillement. En effet, le départ hier, un dimanche, a rendu compliqué l'approvisionnement en produits frais. Nous avons donc des stocks en épicerie qu'il nous faut compléter. Ici, nous faisons la cuisine sur place et cela participe du charme de cet espace hors du temps. Ainsi, nous mangeons aux heures qui nous arrangent, pour nous caler sur le rythme des nuits d'observation.

De retour en bas du téléphérique avec les provisions, nous sommes rejoints par Olivier Stenuit et Manu Antuna, deux astronomes qui font partie de l'équipe des observateurs de la S2P avec qui les discussions et les échanges s'avéreront très enrichissants, autant du point de vue humain que purement technique. La cabine du téléphérique accomplit sa montée dans une épaisse couche de nuages qui nous voile le sommet... comme par magie, juste avant d'atteindre l'observatoire, nous traversons l'épaisse purée de pois et le ciel se dégage. Arrivé en haut, le Pic du Midi et ses coupes semblent flotter, tel un navire, sur la mer de nuages. Je profite d'être sur un des plus beaux sites du monde, pour marcher un peu et me perdre dans la contemplation des montagnes alentours qui donnent en face vers l'Atlantique, à bâbord sur l'Espagne, à tribord sur la France et, loin derrière, la poupe vers la Méditerranée.

Vers 19h30, François pointe Saturne qui est encore assez haute dans le ciel. Au chercheur il vérifie que la planète est bien centrée. Pour ma part, je l'avertis, en reprenant les commandes de pointage du télescope depuis la control room, lorsque Saturne apparaît bien sur mon écran. Le T1m associé à la caméra infrarouge permet de voir parfaitement la planète bien qu'il fasse jour. Cependant, les conditions d'aujourd'hui, vent et température en chute empêchent de bonnes acquisitions (-10°C prévus ce soir avec un vent supérieur à 60km/h). Un détail qui ne trompe pas : les étoiles scintillent énormément, trahissant une forte turbulence atmosphérique. L'image captée est bien moins bonne que la veille.

Vers 20h30 François et Olivier s'attachent à démarrer le dîner. Il faut dire que chacun à son tour jouera le cuisinier en fonction de ses disponibilités et de son inspiration, faisant du repas un rendez-vous essentiel pour soutenir le physique et le moral, surtout quand la fatigue et l'épuisement guettent. Après ce moment convivial, nous constatons que les conditions ne se sont pas améliorées, et il ne semble pas que cela sera le cas avant 2 heures du matin. François dirige quand même le télescope sur Mars pour faire un essai, mais l'image n'est pas meilleure que celle de Saturne. Il me reste quatre nuits au Pic : les prévisions sont favorables pour les trois dernières, celle de demain, quant à elle, s'annonce incertaine. Je décide quand même de ne pas me coucher tout de suite et poursuis le traitement de données. François, de son côté, avance sur ses propres travaux de recherche.

### **#03 – 02-03/10/18 – L'attente, encore...**

La matinée est encore consacrée au dépouillement des données avec François et Olivier, qui nous propose son aide dans le traitement des dizaines de milliers d'images déjà prises lors des séquences d'acquisitions planétaires.

En reprenant celles de dimanche soir (première nuit), on distingue, à peine, la dernière tempête en date sur Saturne : elle apparaît sous la forme d'une bande blanche juste sous l'hexagone qui se trouve au pôle nord. D'après la vitesse de rotation de la planète (qui tourne deux fois et demi sur elle-même en 24 heures et se décale de 2h30 par jour) et les prévisions météo, la tempête devrait être mieux visible le 3 octobre à 19h, soit demain. François peaufine le traitement des images pour faire sortir les détails qui nous intéressent. Notre atmosphère fait bouger les images (qui sont réalisées avec des poses courtes

pour espérer tomber dans les trous de turbulence) et procure donc un faible rapport signal sur bruit. Il faut, parmi les milliers d'images prises – ici 5000 pour cette séquence de Saturne –, sélectionner les plus nettes. François utilise un logiciel de sélection appliquant la technique "Lucky Imaging" (ou par 'chance' sur le nombre d'images prises on sélectionne celles avec peu de turbulence), puis il fait du morphing en déformant la planète pour la faire correspondre en tous points d'une prise de vue à l'autre, par rapport à une vue de référence. Enfin, en additionnant les images sélectionnées et corrigées, il obtient une image finale de bien meilleure qualité. Il "gèle" ainsi la turbulence atmosphérique.



Aujourd'hui, Julien Dubois, maître de conférences à l'ImViA (Image et Vision Artificielle – ex-Le2i) de l'Université de Dijon, rejoint l'équipe. Il est spécialisé dans la conception de systèmes d'acquisitions et de traitements d'images en temps réel. Le brevet déposé pour la caméra, né de discussions entre Julien et moi, fait de lui le co-inventeur de la méthode de reconstruction HDR intégrée sur la caméra. Cette collaboration m'a offert une relation rare et privilégiée avec Julien et les membres de son laboratoire, ouvrant sur nombres de nouveaux sujets et projets.

Les prévisions pour la nuit annoncent que le vent sera encore présent sur le Pic. Pour l'heure, des nuages lenticulaires, nuages stationnaires qui doivent leur nom à leur forme de lentille optique (ils font aussi penser à des soucoupes volantes), s'amassent sur les sommets environnants. La visibilité de nuit risque à nouveau d'être moyenne, et c'est a priori la nuit de demain qui sera idéale au niveau des conditions météorologiques.

La situation ne semblant pas propice à l'observation de planètes, j'installe un réducteur de focale, pour augmenter le champ couvert par la caméra associée au télescope. Il permet d'améliorer l'observation et la détection des objets faibles très peu lumineux et étendus, notamment du ciel profond.



Mais un nuage lenticulaire finit par se former au-dessus du Pic et envahit le ciel, compromettant vraiment les observations... Il plonge petit à petit le sommet dans un épais brouillard et un vent soutenu. Avant que l'humidité n'envahisse la coupole et ne ruisselle, en se condensant, sur les parties encore froides du télescope, nous mettons tous les instruments et le T1m au repos. Ils sont maintenant protégés par la coupole qui vient d'être fermée. Une partie de l'équipe va se coucher, alors que je prends un moment pour me consacrer au traitement des données de la veille et aux appels à projets pour les futurs financements. En attendant une nuit meilleure demain... 5h du matin, mon travail perd toute cohérence : altitude, fatigue, micro-sommeils... Il est temps d'aller se reposer quelques heures.





#### #04 – 03-04/10/18 – Les observations merveilleuses

Comme les jours précédents, la matinée est dédiée à l'analyse des précédentes acquisitions. Je profite de la présence de Julien pour parler de notre algorithme et voir avec lui comment l'améliorer et l'intégrer dans le nouveau prototype de la caméra, actuellement en développement. C'est également le moment de continuer à avancer sur la valorisation de ce nouveau procédé et son exploitation industrielle future. Nous échangeons aussi autour d'un autre projet sur la caméra, que nous venons de débiter, intéressant particulièrement l'astronomie : "l'optique adaptative à un détecteur" ... une autre histoire avec de belles aventures en perspectives.

Malgré les cumulus, petits nuages boursoufflés convectifs liés au beau temps, qui accrochent encore le Pic, la météo continue à prévoir une nuit belle et dégagée, idéale pour mener différents types d'observations. Nous déjeunons à l'heure du goûter, puis certains vont se reposer quelques dizaines de minutes. Juste le temps pour moi, avec l'aide d'Olivier, de retirer le réducteur focal installé la veille. Le programme pour ce soir consistera dans un premier temps à profiter des planètes, et donc d'un maximum de focale, et pour la deuxième partie de nuit, nous pointerons des objets plus faibles du ciel profond. Le temps finit par se découvrir complètement, la mer de nuage est sous le Pic et un bleu immaculé se déploie au-dessus. L'excitation monte...

A 19h, François pointe Jupiter, juste à côté du Soleil. Un des Galiléens, Io, apparaît dans le champ, ainsi qu'une étoile. L'atmosphère est encore très instable, aussi l'image n'est pas très bonne. Mais il faut encore un peu de patience et d'attente... Juste après le coucher du soleil, selon François, la turbulence chutera drastiquement, offrant au Pic l'un des meilleurs ciels au monde. Déjà sur Jupiter, on distingue bien la célèbre tâche rouge de la planète, ainsi que l'ensemble des satellites Galiléens, Io, Ganymède, Europe et Calisto. Je décide de changer la température de consigne de refroidissement du détecteur de la caméra pour la nuit, car les températures dehors sont fraîches et je peux m'autoriser ici ce qui ne fonctionnerait pas dans mon labo à 20 degrés. Cela va réduire le bruit thermique et permettre des poses plus longues. Jupiter est maintenant basse dans le ciel, ses rayons lumineux doivent traverser beaucoup de couches d'atmosphère, les conditions ne sont donc clairement plus idéales pour son observation. Pas un instant à perdre... L'air se stabilise. Au risque que les prochaines nuits soient mauvaises, il faut engranger au plus vite des données.

A 19h20, Saturne est positionnée dans le champ de la caméra, alors qu'une fois de plus le soleil n'est pas encore tout à fait couché, laissant à Manu et Olivier le temps d'aller sur la terrasse immortaliser le fameux rayon vert... C'est un phénomène optique rare qui peut être observé au lever ou au coucher du Soleil, qui prend la forme d'un point vert visible quelques fractions de seconde, voire quelques secondes, au sommet de l'image de l'astre alors que celui-ci est en train de disparaître sous l'horizon.

19h30 : l'image captée est de bonne qualité, très nette par moments... La turbulence chute ! J'enregistre. François pense qu'il peut avoir une meilleure focalisation, car les anneaux se "tortillent" encore un peu. Après quelques minutes passées à affiner la mise au point, les résultats sont très satisfaisants, le rendu non-traité est déjà très net et plein de détails. Nous sommes heureux de cette première observation, d'autant que la suite de la nuit s'annonce tout aussi prometteuse. L'excitation liée à ces bons résultats et à leurs promesses est palpable, les sièges dans mon dos se rapprochent et petit à petit l'équipe se réunit derrière moi pour admirer en direct les images qui arrivent de la caméra sur mon écran.



François déclare : "On reste une heure sur Saturne, puis je pointe Mars !". La planète sera en effet à ce moment au méridien, période où sa lumière traversera le moins de couches d'atmosphère et où on aura la meilleure qualité d'image. A 20h36, avec François nous changeons le filtre pour réduire la gamme de couleurs et tous les défauts de chromatisme associés : nous utilisons le filtre J dans l'infrarouge (qui conserve une bande assez large de 200nm centrée sur 1250nm, ne pénalisant pas trop le flux lumineux pour conserver assez de signal). François refait le focus : "Elle est belle, les amis !". Il y a une nette amélioration par rapport aux résultats d'avant-hier, les traitements à venir seront certainement très bons. Les milliers d'images continuent à s'accumuler sur le disque dur au rythme de 24 par seconde.

20h48 : un satellite est rentré dans le champ et semble s'approcher de l'anneau de Saturne. Olivier essaie de trouver lequel c'est, d'après les éphémérides... mais aucun candidat ne semble possible. En fait, il s'agit d'une étoile en arrière-plan qui s'apprête à être occultée par les anneaux de Saturne. La caméra parvient à capter en direct l'instant où l'étoile apparaît, disparaît, réapparaît, au gré de son passage derrière les anneaux... C'est un moment rare. Avant d'en finir avec Saturne pour cette nuit, je change le filtre et passe sur une longueur d'onde, dont la plage est beaucoup plus étroite (centrée sur 1175nm avec seulement 50nm de large), ce qui me permet "d'éteindre" la planète et d'allumer les anneaux pour accéder à d'autres mesures. Les images HDR de Saturne sont belles : tout en laissant la visibilité sur les nuances de la planète et ses anneaux, de faibles objets sont révélés en arrière-plan. Ce sont essentiellement des étoiles du fond galactique. Saturne se trouve actuellement devant la Voie Lactée, ce qui assure un fond riche en étoiles plus ou moins faibles.

La caméra produit pour l'instant 24 images par seconde, ce qui n'est pas très rapide. La prochaine version pourra en effectuer plus de 250 par seconde.

21h15 : c'est au tour de Mars d'avoir les honneurs et, malgré une multitude de détails qui apparaissent en direct, François n'est pas tout à fait satisfait. La turbulence n'est pas idéale. C'est beau mais pas encore du "Grand Pic" selon lui. Peut-être demain ? Les prévisions météo le confirment.

Après la pause dîner, de 23h à minuit, François vise Uranus qui navigue actuellement à près de 3 milliards de km de la Terre. Elle ressemble à une petite bille, un peu aplatie, entourée de ses principaux satellites : Ariel, Umbriel, Titania, Obéron... reste Miranda trop faible pour être visible ce soir. Nous arrivons néanmoins à saisir quelques nuances de son atmosphère.

Puis à 2 heures, à l'aide de la caméra de guidage et du réducteur de champ, avec François nous orientons le télescope vers la nébuleuse d'Orion. Une carte du ciel nous aide à situer précisément le "minuscule" champ couvert par la caméra associée au T1m, dans cette région qui fourmille d'étoiles (3x4 minutes d'arc avec le réducteur \*0.5). Les images sont très bonnes, et laissent apparaître un nombre incroyable de ces astres en gestation, habituellement cachés dans le visible par leur cocon de poussières interstellaires.

Enchantés par ces résultats, nous tentons, vers 4 heures 30, de pointer la comète 21P/Giacobini-Zinner, de passage en ce moment, toujours en utilisant le réducteur de focale. Nous ne parvenons pas à la voir distinctement, probablement, pense François, à cause de sa magnitude plus faible en infrarouge. Par ailleurs, c'est un objet étendu, sa lumière s'étale sur une grande surface, ce qui diminue drastiquement le rapport signal sur bruit (par rapport à une image stellaire). Ce dernier résultat en demi-teinte ne gâche pas le fait que la soirée a été prolifique. Vers 5h30, nous allons nous coucher satisfaits et surtout impatients d'analyser les résultats après quelques heures de sommeil. Nous n'oublions pas de faire un dernier tour physique sous les étoiles et la Voie Lactée, que déjà à l'œil nu, nous pouvons voir ici comme nulle part ailleurs...

## #04 – 04-05/10/18 – L'apparition

La journée se passe comme les précédentes entre premiers dépouillements des données acquises, mise au point/réglages de la caméra/du télescope et impatience de la prochaine nuit qui s'annonce très bonne.

Vers 19h15 avec François, nous reconditionnons la caméra en configuration planétaire pour refaire des images de Saturne. En suivant la planète sur 3 jours, on devrait pouvoir avoir tout Saturne et suivre l'évolution de la tempête. L'image de Saturne est d'excellente qualité, encore bien supérieure à la nuit précédente.

A 22h15, François oriente le télescope vers Mars. L'image captée est vraiment bonne également. Il est même possible de voir les satellites de la planète, Deimos et Phobos sur la même image que Mars, lors de reconstructions HDR à la volée. Pendant les acquisitions, je fais travailler mon ordinateur à son maximum pour traiter une des séquences de Mars que nous venons d'acquérir... elle est superbe. François habitué, mais pas lassé de ces moments, nous lance : "C'est du Grand Pic, les amis, ce soir !". C'est incroyable de vivre ce moment en direct : nous distinguons même en *live*, sans traitement, Olympus Mons, la chaîne des 3 volcans, la calotte glacière, les "canaux" (qui n'en sont pas) ...

Puis à 1h15, c'est au tour d'Uranus d'apparaître sur la même image que tous ses principaux satellites, même Miranda, encore invisible hier. Cette nuit a quelque chose de fascinant... François, qui était parti se reposer revient frais et remonté à bloc à l'heure où je pensais aller trouver un peu de quiétude. Il est partant pour pointer le cœur d'Orion, je ne peux pas refuser une telle opportunité... je dormirai plus tard. D'autant que le programme s'étoffe encore...

Après Orion, à 5h15, direction Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel ! L'objectif est de détecter Sirius B, son compagnon, une petite étoile, naine blanche, toute proche, qui orbite en moins de 50 ans... Nous y parvenons, Sirius B est dans l'image, proche de Sirius ! Elle est noyée et presque cachée par le flot de lumière incroyable de l'étoile principale, mais la caméra s'en sort et révèle le couple grâce à sa très haute dynamique. On parvient même à distinguer en plus cinq étoiles alentour...

En terminer par-là est symbolique, car Sirius est une étoile spéciale, elle était un repère pour différents peuples, des Dogons d'Afrique aux Chinois, en passant par les Grecs et les Romains. Pour les Egyptiens de l'Antiquité, en apparaissant au début de l'été, elle était le signe annonciateur des fortes chaleurs. Comme elle était l'étoile la plus brillante de la constellation déjà appelée le Grand Chien ou Canis Major, le terme "canicule" vient de là...



## # 05 – 05-06/10/18 – La fin n'en est pas une

La dernière nuit consiste essentiellement pour moi à refaire des images de Saturne et Mars. Comme les circonstances continuent à être propices, j'enregistre un maximum de données pour avoir un rendu optimum. En comparant les images de Mars de ce soir et d'hier soir, on voit le mouvement qu'elle a opéré sur 24 heures et on peut admirer des aspects d'elle qui diffèrent : ainsi Olympus Mons est passé dans l'ombre de la planète et la chaîne des trois volcans de Montes Tharsis s'est rapprochée du terminateur, zone de séparation entre le jour et la nuit. C'est beau, c'est précis... et c'est émouvant. J'ai chez moi mon propre télescope et j'ai déjà photographié beaucoup d'objets astronomiques, constellations, comètes et planètes. La perspective de la planète Mars que j'ai sous les yeux fait montre d'une précision et de détails que je n'avais jamais vus et qui me laissent rêveur... Mars la mystérieuse, Mars dont l'inconscient collectif est marqué, à travers la science-fiction qui englobe, mais surtout dépasse, les triviales histoires de petits hommes verts. Mars dont la conquête reste un objectif pour les astronautes...

Les images que je ramènerai de Saturne aussi sont magnifiques. Ça tourne, l'heure, et aussi les planètes. Tout vient à point à qui sait attendre... et aussi éteindre. Comme lors des précédentes missions ici au Pic du Midi, il a fallu patienter pour que les conditions d'observation deviennent idéales. J'ai eu la chance qu'elles s'installent pendant trois bonnes nuits, ce qui n'est pas toujours le cas ! Et puis vient la fin, le moment où il faut accepter que beaucoup de données soient déjà enregistrées, là sur les disques durs, à patienter d'être regardées et analysées. Débrancher la caméra, la démonter.

Pour la remonter plus tard. En constante évolution, elle intéresse pas mal d'acteurs dans le monde de l'astronomie. À terme, grâce à son économie de ressources et à ses images toujours plus détaillées, elle pourrait même être embarquée à bord de sondes spatiales... Une chose est sûre : d'autres tests me ramèneront très vite ici, car il y a quelque chose de magique au Pic du Midi.

Il est 5h30, dernier tour sur la terrasse, derniers pas sous la Voie lactée... un fin croissant rougeoyant de Lune se lève à l'est sur les lumières de Toulouse.

Toutes les observations et les analyses scientifiques du monde ne nous ont pas encore permis de résoudre tous les mystères liés aux étoiles, il y a encore tant à faire... A une époque où les Hommes ont du mal à (re)trouver l'harmonie sur Terre, je crois qu'il faut garder un œil ailleurs. Pas pour fuir la réalité ni se réfugier dans le divin, mais bien pour conserver ce que la science nous permet de mieux : une curiosité éclairée.

Auteurs : David Darson et Charlotte Normand

Photographies : Hubert Raguet pour Laboratoire de Physique de l'Ens/Photothèque du CNRS

