

# Les Savanturiers

n°8

En mission avec les scientifiques du CEA

## Sommaire :



### Comprendre

Le spectre électromagnétique

Pages 2-3



### Mission d'observation

Des télescopes au Chili

Pages 4-5



### Interviews

3 chercheurs racontent

Pages 6-7



### Observer

Une nébuleuse aux infrarouges

Page 8

## Édito :

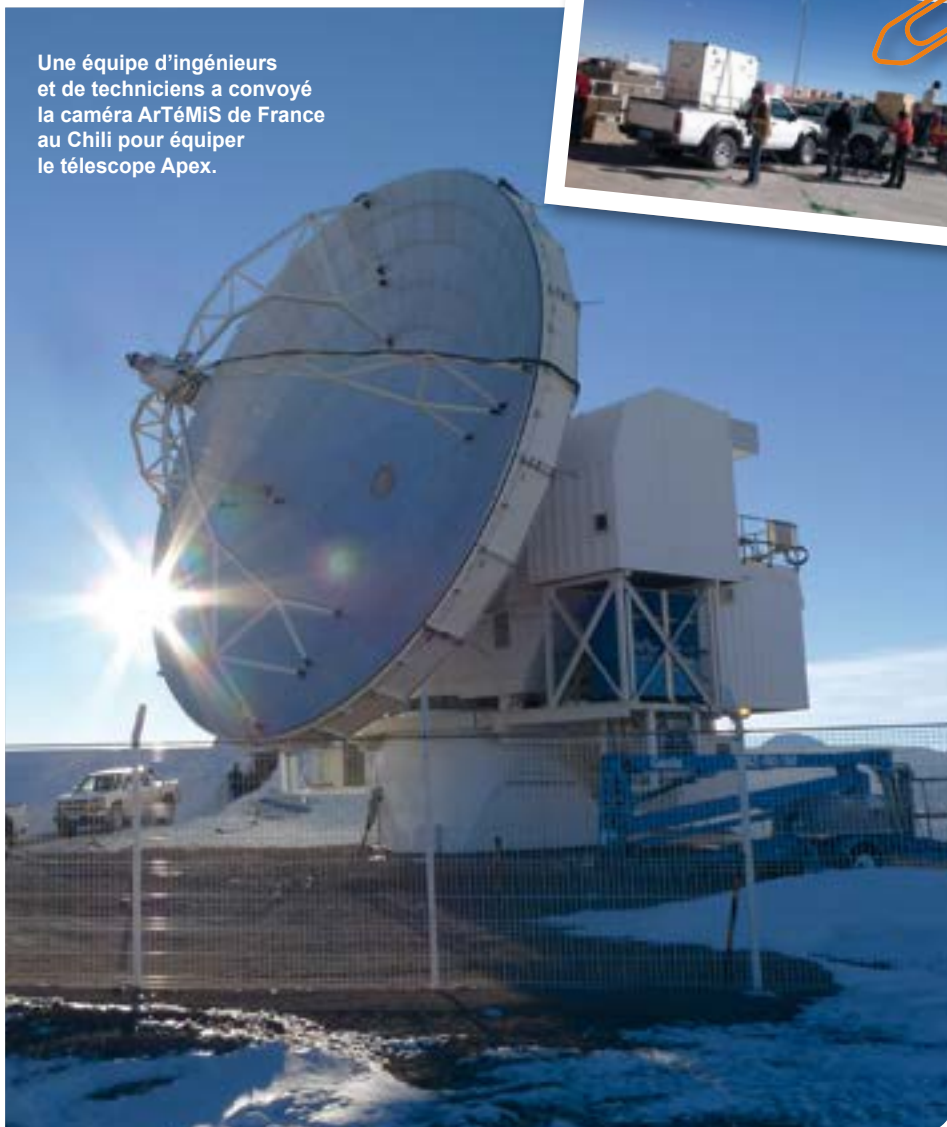
L'Univers se lit comme un livre, racontant une Histoire qui s'est passée il y a des millions, voire des milliards d'années. Chaque longueur d'onde permet de décrypter un chapitre. Pour cela, il est indispensable d'utiliser une instrumentation adaptée, sinon rien ne se révèle.

Après la mission du satellite Herschel et sa moisson d'images, une nouvelle étape vient d'être franchie avec la conception et l'installation de la caméra ArTéMiS sur Apex, une antenne télescope installée au Chili, dans le désert le plus aride et le plus haut du monde. Elle permet d'observer le ciel dans l'infrarouge submillimétrique, dit « Univers froid », où naissent les étoiles et ainsi affiner l'enquête commencée dans l'espace. Les images de la région de la Patte de chat sont surprenantes, mais que cachent encore ces nébuleuses ?

## Une étoile est née !

Sonder le ciel pour y observer des pouponnières d'étoiles, un rêve fou... qui devient réalité. Grâce à l'enthousiasme et à l'ingéniosité des chercheurs et techniciens du CEA, qui conçoivent au laboratoire de nouveaux détecteurs et cryoréfrigérateurs, les caméras installées dans les télescopes permettent d'obtenir des images tout à fait inattendues.

Une équipe d'ingénieurs et de techniciens a convoyé la caméra ArTéMiS de France au Chili pour équiper le télescope Apex.



© DR/CEA

© DR/CEA

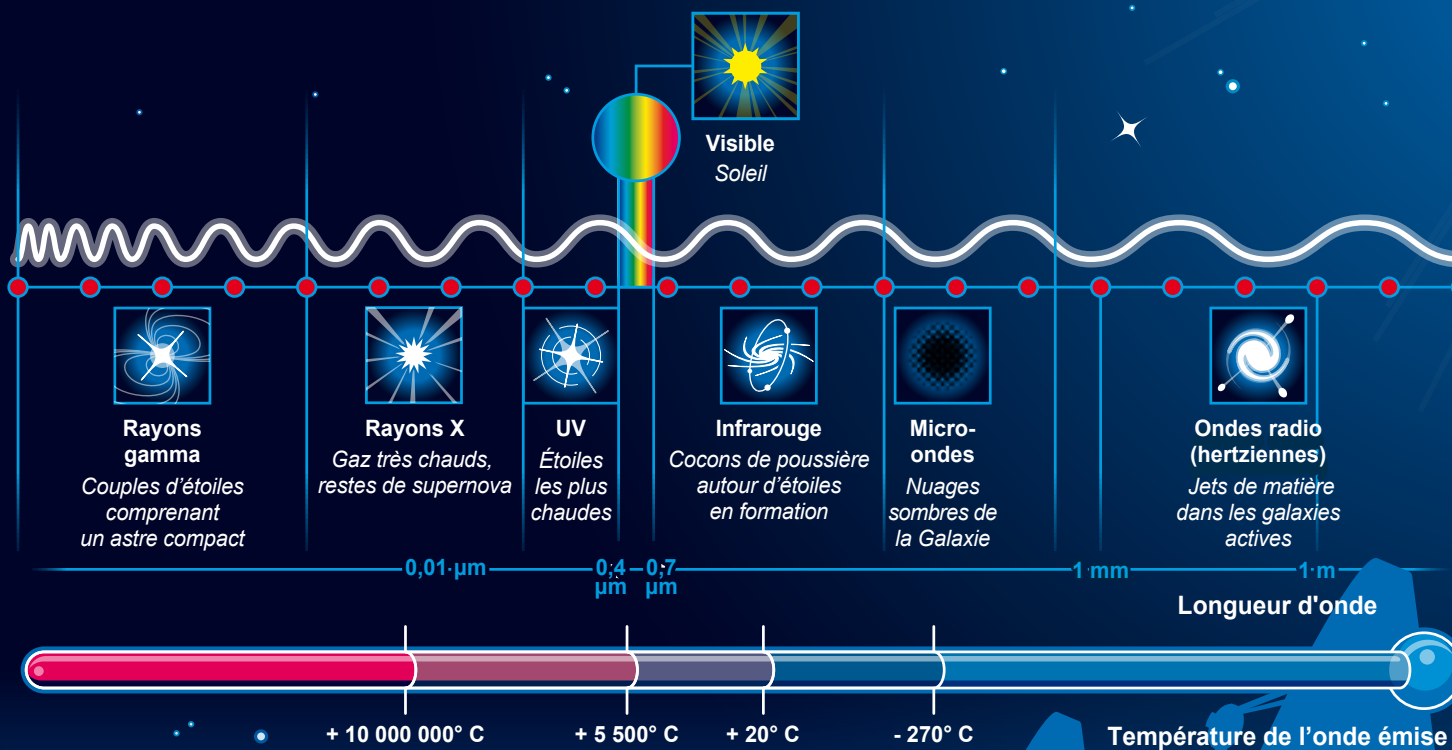


## Sur la piste des ondes et de leur détection

Le photon caractérise la particule de lumière. Cette dernière est un rayonnement énergétique qui s'étend des ondes radio aux rayons gamma en passant par les micro-ondes, l'infrarouge, la lumière visible, l'ultraviolet et les rayons X. Ces rayons se distinguent par leur longueur d'onde qui est une mesure de l'énergie qu'ils transportent. Plus les ondes sont rapprochées (longueur d'onde plus courte), plus le rayonnement transporte d'énergie et plus il est chaud. Inversement les grandes longueurs d'onde sont caractéristiques de rayonnement moins énergétique et plus froid. Lorsque l'on observe le ciel avec un télescope en lumière visible, certaines régions des galaxies apparaissent vides. Elles sont pourtant remplies de gaz et de poussières, objets qui émettent un rayonnement dans des longueurs d'onde invisibles à l'œil humain. Pour observer ces régions, il faut concevoir des détecteurs adaptés à la lumière qu'elles émettent (bolomètres, caméras infrarouges...). Mais cela ne suffit pas : il faut également trouver les moyens de parer aux effets de l'atmosphère, qui joue le rôle d'un filtre en bloquant une grande partie des rayonnements avant qu'ils ne parviennent au sol. La solution consiste à placer ces instruments dans des observatoires situés en altitude ou bien encore dans l'espace à bord de satellites.

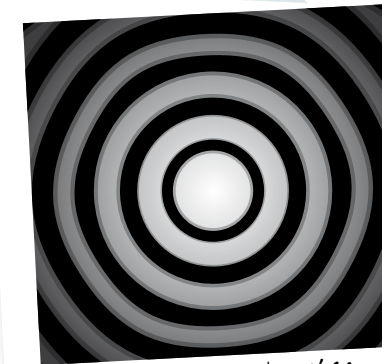
# Comprendre : le spectre électromagnétique

Dans leur quête de la compréhension de l'Univers, les astrophysiciens exploitent l'ensemble du spectre électromagnétique. Chaque longueur d'onde explorée apporte sa contribution, mais toutes sont complémentaires.



## Qu'est-ce que la résolution angulaire ?

La résolution angulaire d'un télescope correspond à l'écart angulaire minimum permettant de distinguer deux objets « apparemment » proches dans le ciel. Les lois de l'optique (théorie de la **diffraction**) font que l'image d'une étoile au foyer d'un télescope, quelque soit la taille du miroir, n'est pas concentrée en un point mais répartie sur une tâche, dite tâche d'Airy. Cette tâche a un centre très intense entouré de plusieurs anneaux sombres concentriques. Le premier anneau sombre est à une distance angulaire de  $\epsilon = 1,22 \lambda / D$  (où  $\epsilon$  est l'angle exprimé en radians,  $D$  le diamètre du télescope et  $\lambda$  la longueur d'onde étudiée). Pour distinguer deux objets, il faut que leurs tâches d'Airy soient au moins séparées de cette distance. A titre d'exemple, un télescope doté d'un miroir primaire de 8 m de diamètre qui observe les astres dans une longueur d'onde de 10 μm (l'infrarouge moyen) est capable de distinguer des étoiles séparées dans le ciel de 0,3 **arcsec**, le même angle que la Tour Eiffel vue de la Lune ! Pour augmenter le pouvoir de résolution d'un télescope, il faut donc augmenter son diamètre.



Exemple de tâche d'Airy simulée par ordinateur

## Lexique :

- Arcsec** : Seconde d'arc ("), unité de mesure des très petits angles. Une seconde d'arc = 1 degré/3 600.
- CCD** : Charge-Coupled Device (dispositif à transfert de charge). Circuit intégré qui joue un rôle analogue à la plaque photographique : il capte la lumière et permet d'obtenir un signal dépendant de la quantité reçue. Ces capteurs sont couramment utilisés en astronomie et équipent les caméras et appareils photo modernes.
- Diffraction** : Phénomène d'optique affectant l'observation d'une image à travers un instrument, dû au caractère ondulatoire de la lumière.

## Comment marche un télescope ?

Un télescope est analogue à un grand entonnoir à lumière. La lumière émise par les objets célestes arrive sur le miroir primaire. Ce collecteur réfléchit les rayons lumineux vers un autre miroir, dit secondaire. Ce dernier fait alors converger le faisceau lumineux vers le foyer du télescope. Plus le collecteur est grand, plus la quantité de lumière reçue est importante. Augmenter la taille du miroir primaire permet de collecter la lumière d'objets intrinsèquement plus ténus ou plus lointains mais également d'accroître sa capacité à distinguer des objets célestes proches l'un de l'autre dans le ciel. Cette dernière

propriété est appelée résolution angulaire ou spatiale. Les miroirs actuels sont très fins, un peu plus de 17 cm d'épaisseur. Pour un diamètre de 8 m, cela représente un poids de 23 tonnes, qui a tendance à les déformer. Pour leur assurer une forme optimale quelle que soit la position du télescope, un système d'optique adaptative a été conçu. Il est basé sur 150 vérins hydrauliques axiaux placés sous la surface.

### Au foyer du télescope

C'est au foyer que sont placés les détecteurs qui vont analyser la lumière pro-

venant de l'objet céleste visé. Selon les objectifs scientifiques, le dispositif instrumental est différent. Il peut s'agir d'une caméra adaptée pour photographier et cartographier une région du ciel, d'un photomètre pour recueillir la lumière pour une longueur d'onde donnée et en mesurer la quantité au cours du temps, ou bien d'un spectrographe qui analyse les différentes longueurs d'onde afin de déterminer la composition chimique et la température de l'objet observé. Le détecteur peut être un capteur électronique **CCD**, composé d'une mosaïque d'éléments, qui mesure la quantité de photons reçus. Pour le rayon-

nement infrarouge, c'est une matrice de bolomètres qui mesure l'élévation de température due à la lumière reçue.

### Maintenance à distance

Une plateforme assure les fonctions nécessaires à l'exploitation du télescope : alimentation électrique, commande d'altitude (position du télescope), communications, commande et traitement des données, système de régulation thermique.

## En savoir +

- Exposition itinérante « Voyage au centre de la Galaxie » sur <http://www cea.fr/jeunes/espace-enseignants/expositions>
- Exposition permanente « Le Grand récit de l'Univers » à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris



# Toujours plus haut, toujours plus grand, toujours plus précis

Des télescopes captent l'Univers froid. Un voyage dans le temps, il y a plus de 10 milliards d'années, qui ouvre une nouvelle fenêtre sur nos origines cosmiques.

## Le projet Alma



Installation de la caméra ArTéMiS.



Le projet **Alma** est une aventure internationale où l'Europe, l'Amérique du Nord, Taïwan, le Japon et le Chili sont impliqués. Cet observatoire, géré par l'**ESO**, est dédié à l'étude du rayonnement millimétrique (sa longueur d'onde est proche du millimètre) et submillimétrique (entre 100  $\mu$ m et 1 mm), proches des infrarouges, pouvant révéler des nuages de gaz et de poussières très froids (- 250 °C) dans lesquels les étoiles sont en train de naître. Alma fournit aux chercheurs des images détaillées du milieu interstellaire, des sites de formation d'étoiles et de planètes, de galaxies naissantes aux limites de l'Univers.

## Mission (pas) impossible ?

Pour atteindre ces objectifs, deux conditions : accéder à un ciel pur et sec (pauvre en vapeur d'eau car l'humidité absorbe le rayonnement infrarouge) et augmenter le diamètre du télescope.

Alma est donc implanté au nord du Chili, sur le plateau de Chajnantor, à plus de 5 000 m d'altitude. Le désert de l'Atacama est l'un des endroits les plus hauts et arides sur Terre, les astronomes y trouvent un environnement optimal pour leurs observations. Mais ils doivent travailler dans des conditions parfois difficiles : l'oxygène est rare, les températures souvent très basses et les tempêtes de neige (ou de sable) fréquentes. Une fois les antennes équipées, les scientifiques travaillent depuis le camp de base, situé à 2 500 m d'altitude.



L'observatoire Alma, dans le désert d'Atacama.

## Des technologies hors du commun

Les laboratoires du CEA ont développé tous les sous-systèmes (cryogénique, mécanique, optique, contrôle-commande, électronique, software) de la caméra ArTéMiS.

### Des diamètres toujours plus grands

Construit en 1917, le télescope du Mont Wilson est le premier des grands télescopes modernes. Des années 1940 à 1970, la limite des miroirs était de 6 mètres. À partir des années 1980, des miroirs minces apparaissent et permettent de dépasser ce diamètre. Pour aller plus loin, les astrophysiciens ont imaginé placer les antennes en réseau, procédé déjà éprouvé avec succès par leurs collègues radio-astronomes.

Le réseau d'antennes fonctionne comme un télescope unique, les informations recueillies par chaque télescope individuel étant recombinaisonnées. La résolution obtenue est de  $1,22 \lambda$  (longueur d'onde)/D (distance du réseau). L'observatoire Alma complet sera composé de soixante-six antennes : une cinquantaine de 12 m de diamètre, complétée par une douzaine de 7 m. Elles peuvent être agencées dans différentes configurations. La distance entre les antennes, variant de 150 m à 16 km, permettra une formidable capacité de zoom. La résolution prévue est de quelques dizaines de millisecondes d'arc.



Le télescope Apex.

### Le prototype Apex

Implanté lui aussi sur le plateau de Chajnantor, le télescope **Apex** mesure 12 m de diamètre. Il détecte de nombreux objets célestes qu'Alma étudiera ensuite plus précisément. Pour cela, il est équipé de la caméra **ArTéMiS** utilisant des **bolomètres**. Ces thermomètres ultra-sensibles conçus pour détecter les plus infimes variations de température dues à la faible radiation submillimétrique doivent être refroidis à une température de - 272,85 °C ! Apex possède plusieurs instruments, de 5 à 8 selon les périodes, tels que des spectromètres « radio », des caméras pour d'autres longueurs d'ondes...



Travail sur un cryoréfrigérateur spatial.

### Des innovations technologiques

Les bolomètres sont les « yeux » de la caméra. Chacun d'eux est constitué d'une grille absorbante, avec en son centre un thermomètre, le tout connecté à un cryoréfrigérateur à évaporation d'hélium en circuit fermé. Lorsqu'il absorbe un photon, l'énergie du rayonnement électromagnétique est convertie en chaleur et la température monte. Un module électrique convertit ensuite les variations de température en variations électriques. Celles-ci sont analysées pour obtenir des cartographies de température dans l'infrarouge. Les matrices des bolomètres d'Herschel ont été améliorées et les nouvelles sont plus sensibles. Elles augmentent par 3 la vitesse de la cartographie de l'espace ; des détails de sources célestes jusque-là invisibles ont été révélés dès les premiers essais.

### Lexique :

**Alma** : Ce sigle signifie *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*.

**Apex** : Ce sigle signifie *Atacama Pathfinder Experiment*.

**ArTéMiS** : Architectures de bolomètres pour des Télescopes à grand champ de vue dans le domaine submillimétrique au Sol.

**Bolomètre** : Exploite le principe de détection le plus simple qui soit : tout corps exposé à un rayonnement électromagnétique en absorbe une partie et convertit cette énergie en chaleur. Le principe est utilisé en astronomie depuis 1881 !

**ESO** : European Southern Observatory.



ArTéMiS au laboratoire.



# Interviews

Une caméra pour tous et tous unis pour ce projet. Ils l'ont conçu, ont bravé des conditions extrêmes pour l'installer et enfin recueillir des images exceptionnelles.

## Philippe André Astrophysicien

« La recherche est une remise en cause perpétuelle ! »

**Les Savanturiers : Quel est votre rôle dans ce projet ?**

**Philippe André :** Je suis responsable scientifique du programme « Formation des étoiles ». Pour observer les régions les plus froides de l'Univers, nous avons besoin d'outils qui captent les rayonnements dans l'infrarouge submillimétrique. J'ai donc suivi la mise au point de la caméra qui permet cela, ArTéMiS, ses premiers essais et les premières images qu'elle a fournies.

**Comment est né le programme ArTéMiS ?**

Il fait suite à la mission du satellite Herschel. Nous avons reconstruit une caméra identique, qui utilise des bolomètres comme détecteurs, mais plus sensibles et en nombre plus important. Nous l'avons testée en 2006 sur un télescope installé dans les Alpes suisses, à 3 000 m d'altitude, puis

sommes partis au Chili, à 5 000 m cette fois. Comme le miroir d'Herschel, installé dans le satellite, ne faisait que 3,5 m de diamètre, cela a limité les observations de **protoétoiles** individuelles aux régions les plus proches (- de 1 500 **années-lumière**). En construisant un miroir de 12 m de diamètre, nous pouvons résoudre spatialement des régions plus lointaines et plus riches, formant des étoiles plus massives.

**Qu'apportent de nouveau ces premières images ?**

Nous avons visé la nébuleuse de la Patte de chat, déjà cartographiée par Herschel. Nous avons détecté des détails plus fins et avons notamment pu résoudre, pour la première fois dans cette région massive, le diamètre des filaments qui seraient le berceau de la plupart des étoiles. La caméra ArTéMiS, installée sur le télescope Apex, permet de sélectionner

des objets célestes qui seront ensuite étudiés avec une résolution encore plus haute par le réseau Alma. En plongeant au sein des protoétoiles en formation, Alma promet de révolutionner les théories sur la formation du système solaire. Cela fait 20 ans que je travaille sur ces thématiques, mais la recherche est une remise en cause perpétuelle !

### Formation :

- Bac S
- École normale supérieure
- Thèse au Service d'astrophysique du CEA
- Coopérant à l'IRAM à Grenoble
- Post-doc à Tucson, Arizona, USA (NRAO)



© C. Dupont/CEA



© C. Dupont/CEA

## Vincent Reveret Physicien spécialiste en instrumentation

« Nous essayons d'anticiper les demandes des astrophysiciens... »

**Les Savanturiers : Pourquoi s'installer au Chili ?**

**Vincent Reveret :** Pour travailler dans les longueurs d'onde de l'infrarouge submillimétrique, nous devons aller le plus haut possible et dans un endroit très aride, pour éviter la vapeur d'eau. Les sites qui remplissent ces conditions sont le Chili, Hawaï et l'Antarctique. Comme le Chili est maintenant bien doté d'infrastructures routières, nous pouvons accéder assez facilement au plateau de Chajnantor, situé à 5 000 m d'altitude.

**Allez-vous souvent en mission sur site ?**

En 2000, ma thèse portait sur les détecteurs d'une caméra pour l'astrophysique ; au niveau technique, c'était une première ! Je suis parti tout de suite après au Chili. Ma première expérience à 5 000 m a été bizarre : je voulais corriger ma thèse mais je ne comprenais plus rien ; à cette altitude,

le cerveau manque d'oxygène et ne fonctionne plus correctement. J'ai vécu là-bas pendant 4 ans, travaillant sur le télescope Apex. À mon retour, j'ai travaillé sur la caméra ArTéMiS. Spécialiste de l'instrumentation, je devais coordonner le télescope et la caméra ; il fallait rapidement résoudre les problèmes de communication entre les deux. Maintenant, je suis plutôt côté utilisateur, je fais le lien entre les chercheurs et les techniciens.

**L'installation de la caméra a-t-elle été facile ?**

La caméra pèse environ 250 kg et, comme il n'y avait pas beaucoup de place, il a fallu concevoir un système pour l'accrocher au plafond de la salle, au-dessus du miroir ! Ça a été un point difficile, une des contraintes fortes du projet, nous n'avions pas droit à l'erreur.

**Et la suite ?**

Le télescope Apex est sans équivalent et donc très important pour la communauté

scientifique. Il fonctionnera jusqu'en 2017, voire 2020. Il n'y aura pas d'évolution majeure ; on installera de nouvelles générations de détecteurs sur la caméra, à Saclay puis au Chili pour les derniers. Avec l'aide de spécialistes en mathématiques appliquées, nous essayons d'anticiper les demandes des astrophysiciens, en développant des détecteurs plus sensibles, ou aux propriétés différentes, comme des polarimètres, afin qu'ils puissent recueillir de nouvelles informations.

### Formation :

- Bac S
- DUT de mesures physiques à Clermont-Ferrand
- Bachelor of science à Nottingham en physique appliquée
- DESS optique et matériaux
- DEA et thèse
- Post-doc au Chili

## François Visticot Technicien

« L'objectif est que l'instrument soit utilisable en permanence par toute la communauté scientifique. »

**Les Savanturiers : Depuis combien de temps travaillez-vous sur ce projet ?**

**François Visticot :** Cela fait 6 ans. Nous sommes toute une équipe : mécaniciens, opticiens, électroniciens, informaticiens, chercheurs, à avoir conçu un premier prototype de caméra. Nous avons repris les matrices des bolomètres d'Herschel, les yeux du détecteur, et les avons adaptés pour un observatoire au sol. Il a fallu aussi créer un **cryostat** adapté, le dessiner et le tester. Pour cela, des équipes de Grenoble et Saclay ont collaboré. L'intégration des détecteurs et des optiques a été effectuée à Saclay. Lors de cette phase de développement, la caméra était fonctionnelle, mais pas complète ; nous avons ajouté des détecteurs et l'avons finalisée.

**Avez-vous suivi l'installation sur le télescope ?**

J'ai fait partie de l'équipe qui est allée au Chili. Le temps était compté : on ne peut intervenir que quelques moments dans l'année, en hiver et hors temps d'observation et d'expériences. Le reste de l'année, une équipe d'une vingtaine de permanents chiliens et internationaux maintient l'installation depuis le camp de base. L'objectif est que l'instrument soit utilisable en permanence par toute la communauté scientifique.

**Décrivez-nous cette aventure...**

Nous avons subi une tempête de neige, du jamais vu ! Nous étions bloqués au camp de base, à 2 500 m, sans nouvelles du télescope. Les bulldozers n'arrivaient

pas à déneiger, l'un d'eux est tombé dans le fossé. Enfin à 5 000 m, il nous a fallu creuser un chemin à la pelle pour accéder aux baraquements, vérifier et rétablir le télescope. Les 15 jours de la mission ont été bien raccourcis !

**La neige est-elle le seul problème ?**

A une telle altitude, on travaille moins bien. Le manque d'oxygène est très dur. Parfois, lorsque l'on monte au deuxième étage du télescope, il est fréquent d'avoir oublié ce que l'on venait y faire ou y chercher !

### Formation :

- Bac S
- IUT de mesures physiques



© C. Dupont/CEA

## Les news

### Parée pour une nouvelle mission

Les tests de validation de la caméra ont donné des premières images de la région NGC 6334, la nébuleuse de la Patte de chat, une région de formation d'étoiles située à 5 500 années-lumière de la Terre dans la constellation australe du Scorpion. De retour sur le centre de Saclay, elle a été équipée de nouveaux détecteurs. Elle compte désormais 8 matrices de 16 x 18 pixels au lieu des 4 précédemment. Vous pouvez suivre le retour de la caméra au Chili, son installation et les premiers tests sur :

[www.facebook.com/camera.artemis](http://www.facebook.com/camera.artemis)

### En savoir +

- Retrouver ces chercheurs sur le site des Savanturiers [www.cea.fr/le-cea/publications/les-savanturiers/les-savanturiers](http://www.cea.fr/le-cea/publications/les-savanturiers/les-savanturiers)
- Et Philippe André qui fait le point sur les résultats d'Herschel [www.cea.fr/jeunes/medias/videos/actualite/herschel-interview-philippe-andre](http://www.cea.fr/jeunes/medias/videos/actualite/herschel-interview-philippe-andre)
- À lire « Dans les secrets de l'Univers », revue Clefs CEA n° 58 disponible sur [www.cea.fr/le-cea/publications/les-clefs-du-cea](http://www.cea.fr/le-cea/publications/les-clefs-du-cea)



© C. Dupont/CEA

### Lexique :

- Année-lumière :** La distance que parcourt la lumière dans le vide en une année, soit environ 10 000 milliards de kilomètres.
- Cryostat :** Instrument permettant d'obtenir des températures cryogéniques (inférieures à - 150 °C).
- Protoétoile :** Stade précoce dans le processus de formation d'une étoile, c'est la contraction des gaz d'un nuage moléculaire en milieu interstellaire.



# Étonnantes images de la nébuleuse de la Patte de chat

Herschel avait découvert que les étoiles naissent principalement dans des filaments. Auparavant, on savait qu'ils existaient dans le milieu interstellaire mais on ne soupçonnait pas leur importance pour la formation des étoiles.

ArTéMiS a permis de voir à l'intérieur de la nébuleuse obscure NGC 6334, dite de la Patte de chat, et de résoudre le diamètre et la texture des filaments de cette matière froide.

Cette image est la superposition de plusieurs :

- les zones bleues et blanches viennent du télescope Vista, à des longueurs d'ondes beaucoup plus courtes (infrarouge proche, quasiment de la lumière visible). Elles représentent du gaz chauffé par des étoiles massives déjà formées.
- les zones orangées viennent d'ArTéMiS et représentent la matière froide, le cœur de la nurserie d'étoiles qui ne brille que dans l'infrarouge lointain et le submillimétrique.

Vidéo à découvrir sur :

[www.eso.org/public/france/videos/eso1341a/](http://www.eso.org/public/france/videos/eso1341a/)



© ArTéMiS team/ESO 091.C-0870.U. Emerson/VISTA

## Les Savanturiers sur tablette

À ouvrir et découvrir sur  et 

Pour chaque numéro, une version digitale est disponible pour votre tablette Apple ou Android. Vous pourrez voir et entendre les chercheurs interviewés, découvrir des diaporamas, suivre des infographies animées...

De nombreuses ressources supplémentaires qui permettent d'en savoir plus sur chaque thématique.  
**Tous les numéros sont sur le Kiosque Apple.**

### Sites :

CEA : [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

CEA jeunes : [www.cea.fr/jeunes](http://www.cea.fr/jeunes)

Laboratoire Irfu : [irfu.cea.fr](http://irfu.cea.fr)

Observatoire ESO : [www.eso.org](http://www.eso.org)

Retrouvez les Savanturiers en version web :  
[www.cea.fr/le\\_cea/publications/les\\_savanturiers/](http://www.cea.fr/le_cea/publications/les_savanturiers/)



Editeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, RCS Paris B 775 685 019  
Directeur de la publication : Xavier Clément  
Ont participé à ce numéro : Philippe André, Jean-Marc Bonnet-Bideau, Christian Gouffès, Sophie Kerhoas-Cavatta, Florence Klotz, Lucia Le Clech, Vincent Reveret, François Visticot.  
Infographies : Antoine Levesque  
Création et réalisation : NPO\* - [www.nepasoublier.fr](http://www.nepasoublier.fr) - Mai 2014  
ISSN 2271-6262

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous empruntions le titre de son émission.