

# ALMA : l'Univers en interférométrie millimétrique

Pierre Cox, le directeur d'ALMA, répond aux questions de Michèle Leduc



Le très grand interféromètre ALMA (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*) est installé dans le désert de l'Atacama, au nord du Chili. Il occupe un site grandiose sur un vaste plateau à 5000 mètres d'altitude. Il fonctionne aujourd'hui quasiment à plein régime avec ses 66 antennes, dont 54 de 12 mètres et 12 de 7 mètres de diamètre, pouvant se déployer sur des distances de 150 mètres jusqu'à 16 km (fig. 1). ALMA explore une large gamme de longueurs d'onde, allant de 0,3 à 3 mm. Un supercalculateur sur place exploite en temps réel les signaux corrélés entre chaque paire d'antennes et enregistrés simultanément pour l'ensemble des antennes. Il en résulte des images d'une grande qualité et d'une prodigieuse résolution angulaire, permettant d'explorer des galaxies les plus lointaines du cosmos jusqu'aux régions de formation stellaire les plus proches de nous dans notre Voie Lactée.

Michèle Leduc a eu le privilège de visiter le site d'ALMA et a pu interroger Pierre Cox, son directeur depuis bientôt trois ans.

**Michèle Leduc :** Comment a été choisi le site d'ALMA ? Quelles sont les limitations imposées par la météo locale ?

**Pierre Cox :** La première condition pour un tel instrument au sol est de limiter au maximum la vapeur d'eau au-dessus des antennes. Le désert de l'Atacama est l'une des régions les moins arrosées du globe. Le plateau de Chajnantor est plus accessible que d'autres sites comme, par exemple, le pôle Sud. La haute altitude est un atout fondamental pour limiter l'épaisseur d'atmosphère traversée et ainsi augmenter la transmission des radiations submillimétriques. Enfin, il fallait une vaste surface, assez plate, pour déployer les antennes jusqu'à de grandes distances. Les risques sismiques ou liés à un volcan actif proche semblent heureusement faibles.

Il y a parfois des nuages dans l'Atacama, que ce soit en fin d'après-midi, lorsque la vapeur d'eau augmente et que la phase atmosphérique devient instable, ou bien lors de l'hiver sur l'Altiplano (en février). Ces conditions gênent particulièrement pour l'étude des courtes longueurs d'onde, et l'on en tient compte dans la programmation des observations.

**ML :** Quels sont les grands consortia à l'origine du projet ? Comment bénéficient-ils du temps d'observation ?

**PC :** La création d'ALMA a été décidée par trois partenaires : l'Amérique du Nord (les États-Unis et le Canada), l'European Southern Observatory (ESO) et l'Asie orientale (Japon, Taïwan et République de Corée). Le Chili est le pays hôte. Au total, ce sont 22 pays qui sont actuellement impliqués dans le projet ALMA. Les proportions du temps disponible accordées pour les observations reflètent les investissements initiaux, soit : 37,5% pour chacun des deux premiers partenaires et 25% pour le troisième, sachant que 10% du temps est réservé pour

le Chili. La pression des demandes est très forte, avec environ un programme sur cinq accepté aujourd'hui.

**ML :** Cet interféromètre est un instrument très versatile. Comment choisit-on de fonctionner tantôt en grande base avec des antennes très éloignées, tantôt en base réduite ?

**PC :** On peut déplacer jusqu'à deux, exceptionnellement trois, antennes par jour ; c'est une manœuvre complexe, qui nécessite de très gros camions spéciaux équipés de capteurs pour maintenir le centre de gravité de l'antenne toujours au même niveau, ainsi qu'une équipe spécialisée. Une même configuration d'antennes est exploitée pendant plusieurs semaines. Avec des antennes très éloignées on obtient la meilleure résolution angulaire, mais au prix d'une moins grande sensibilité. Le choix de la configuration dépend des problèmes scientifiques à étudier. Les petites antennes sont utilisées en réseau compact, afin d'échantillonner les courts intervalles entre antennes et récupérer ainsi l'émission des objets célestes les plus étendus.

**ML :** Quel type de données fournit ALMA ? Quels objets sont les plus étudiés ?

**PC :** ALMA sonde l'Univers froid dans les nuages denses et froids à quelques degrés kelvin, où se forment les étoiles. Les ondes submillimétriques permettent de mesurer l'émission continue de la poussière froide, ainsi que détecter les raies d'un grand nombre de molécules dont est formée la matière interstellaire.

ALMA est particulièrement bien adaptée à l'étude des galaxies jeunes, caractérisées par une grande valeur de  $z$ , la mesure du



© Clem et Adria Baarri-Normier/ESO.

1. Le réseau d'antennes ALMA, dans la cordillère des Andes chilienne.



© ALMA (NSAO/ESO/NAOJ) ; E. Sæviom (NSAO/ALMA/NSF) ; NASA/ESA/Hubble ; T. Hunter (NSAO).

2. Image composite obtenue par l'interféromètre ALMA et le télescope spatial Hubble de la galaxie SDP.81, située à 11,5 milliards d'années-lumière. Pour ALMA : en orange, image en ondes millimétriques à très haute résolution de la poussière de la galaxie révélée par un effet de lentille gravitationnelle (d'où la forme en anneau). Pour Hubble : en bleu, image en lumière visible de la galaxie proche dans l'alignement de la précédente, qui crée l'effet de lentille gravitationnelle.

déplacement cosmologique vers le rouge des longueurs d'onde dans l'Univers en expansion. Ainsi pour  $z = 5$ , on observe à 1 mm l'émission des poussières ou des molécules ayant émis à 0,2 mm il y a environ 12 milliards d'années. Il est possible d'étudier la morphologie et la composition chimique du gaz et d'en déduire la dynamique, en particulier autour du trou noir central.

ALMA permet aussi de comprendre les étapes de la formation d'étoiles dans des régions proches situées dans notre galaxie et d'étudier des disques circumstellaires où peuvent se former des planètes. Nous observons de plus les étoiles évoluées, le Soleil, les planètes, les comètes et même Pluton ! La gamme de fréquences d'ALMA donne des informations très complémentaires de celles des autres observatoires opérant dans le domaine optique ou radio (fig. 2).

Finalement, nous pouvons aussi travailler en interférométrie à très grande base avec des antennes d'autres observatoires situés en d'autres points du globe, simulant ainsi un télescope de 10 000 km de diamètre : la résolution est extrême et peut distinguer une balle de ping-pong sur la Lune. Ce type d'observations permettra d'imager, entre autres, le trou noir au centre de notre Galaxie.

**ML :** Combien de personnes travaillent à ALMA ? Comment entretiens-tu l'ambiance sur site, qui semble excellente malgré l'isolement et l'altitude ?

**PC :** Environ 260 personnes, dont une cinquantaine de scientifiques, travaillent à ALMA au Chili. La majorité travaille et réside sur le site à la station OSF (Operation Support Facility) située à 3000 mètres d'altitude, et ne montent à 5000 mètres, là où sont les antennes, que pour les besoins de maintenance, de reconfiguration des antennes, etc. Toutefois, même à l'OSF,

l'altitude rend le travail fatigant et les ingénieurs, scientifiques et techniciens n'y passent pas plus d'une semaine à la fois, avec des équipes en rotation régulière. Une large fraction du personnel (80%) est chilien, venant de provinces très éloignées, de l'extrême nord à la Patagonie, une occasion unique pour eux de confronter leurs cultures très marquées et diverses.

Un rôle important du directeur est de contribuer aux bonnes conditions de vie pour une communauté confinée : la nourriture, les divertissements, les sports ont une grande importance ; nos équipes, bien entraînées en altitude, ont de vifs succès sportifs au niveau de la mer !

**ML :** Quels sont les principaux problèmes que tu rencontres dans la gestion, comment conçois-tu ton rôle de directeur ?

**PC :** La gestion d'ALMA est assez complexe. Le directeur est loin d'avoir tous les pouvoirs de décision, mais il a un rôle majeur. D'abord, il a en charge toute la programmation des projets. Je considère que la première priorité du directeur est de permettre à ALMA de produire la meilleure science possible, à la hauteur de ses immenses potentialités. Il est aussi responsable du bon fonctionnement des équipes du personnel, ce qui peut parfois être problématique. J'ai ainsi connu une grève et une occupation du site peu après avoir pris mes fonctions en 2013. Tout cela est heureusement résorbé et l'ambiance aujourd'hui est incomparablement meilleure que lorsque je suis arrivé. La fonction de représentation est très importante vis-à-vis des pouvoirs politiques locaux et internationaux, ainsi que de grands industriels avec lesquels sont négociés les contrats. Enfin, le directeur contribue à la visibilité des superbes résultats scientifiques d'ALMA pour tous les publics, au Chili et ailleurs : c'est un devoir, mais aussi un grand plaisir pour moi ! ■