



Les limites de l'exploration de l'Univers

L'observation de l'Univers a notablement progressé, tant au sol que de l'espace. Le bestiaire des objets célestes ne cesse de s'étoffer. En revanche des limites techniques et théoriques subsistent. Seront-elles levées ? En partie seulement, selon l'astrophysicien Roland Lehoucq.

Pour la Science : L'observation du ciel depuis la Terre révèle des objets de plus en plus éloignés grâce à des télescopes toujours plus puissants. Que peut-on observer de la Terre ?

Roland Lehoucq : Même si l'observation depuis la Terre a ses limites, on peut facilement voir de nombreux objets célestes : la Lune, le Soleil, quelques planètes, les étoiles. Mais aussi d'autres objets qui ont été plus difficiles à découvrir parce qu'ils sont très peu lumineux. Les premières observations ont eu lieu à l'œil nu, puis vinrent les premiers instruments astronomiques – lunette ou télescope – permettant de récupérer davantage de lumière. On a fabriqué des télescopes et des lunettes toujours plus puissants non pas tant pour grossir les objets observés, mais surtout pour collecter toujours plus de lumière, ce qui a autorisé l'observation d'objets peu lumineux. Un télescope qui a un diamètre 100 fois supérieur à celui de notre pupille collecte 10 000 fois plus de lumière, et les grands télescopes modernes captent beaucoup plus de lumière que les anciens. La première limite franchie par de tels instruments a été celle de la luminosité. Petit à petit, on a observé des objets qui étaient trop faibles pour être vus à l'œil nu. L'accroissement de la taille des instruments a aussi amélioré la résolution des images observées, c'est-à-dire la capacité à distinguer deux détails proches.

Pour la Science : Même si les progrès ont été remarquables, les observations réalisées depuis la Terre ne dépendent-elles pas trop des conditions météorologiques ?

Roland Lehoucq : Si, bien sûr. Les perturbations de l'atmosphère, les nuages, les mouvements de convection perturbent les observations et, qui plus est, les astronomes ne peuvent rien faire durant la journée, ni les nuits où la Lune

est trop brillante ! Une façon d'éviter les nuages, c'est de faire les observations le plus haut possible, par exemple au sommet des montagnes. De plus, quand l'observateur est en altitude, l'épaisseur de l'atmosphère qui le surplombe diminue. L'atmosphère est une sorte de filtre qui s'interpose entre la source de lumière – les astres – et les détecteurs – les yeux ou les télescopes. Or l'atmosphère est parcourue de vents, de turbulences, de poussières diffusant la lumière, déformant les images et entravant l'observation. Qui plus est, une observation au sommet d'une montagne permet de s'affranchir de la pollution lumineuse intense due aux grandes villes. Enfin, en montagne, en altitude, l'air est froid et sec, la vapeur d'eau y est rare ; or c'est un gaz qui absorbe considérablement certains rayonnements, notamment dans le domaine infrarouge.

Pour la Science : Une technique récente, l'optique adaptative, ne permet-elle pas de s'affranchir des fluctuations de l'atmosphère ?

Roland Lehoucq : Les performances des télescopes se sont améliorées à mesure que l'on a su fabriquer des miroirs de grande taille. On a ainsi obtenu des miroirs d'un seul bloc de cinq à six mètres de diamètre et de 60 centimètres d'épaisseur. Ils pesaient des tonnes et étaient évidemment très difficiles à fabriquer. Avec l'optique active, il est possible d'élaborer des miroirs de grande taille, minces et donc légers. Le miroir doit alors être soutenu par un jeu de vérins pilotés, dotés de capteurs et qu'un ordinateur réactualise toutes les 30 secondes : ces capteurs peuvent détecter des différences de pression équivalant au poids d'une mouche déposée sur le miroir. Ce dispositif déforme le miroir en temps réel pour qu'il conserve sa forme parabolique. En même temps, ces vérins supportent le miroir,

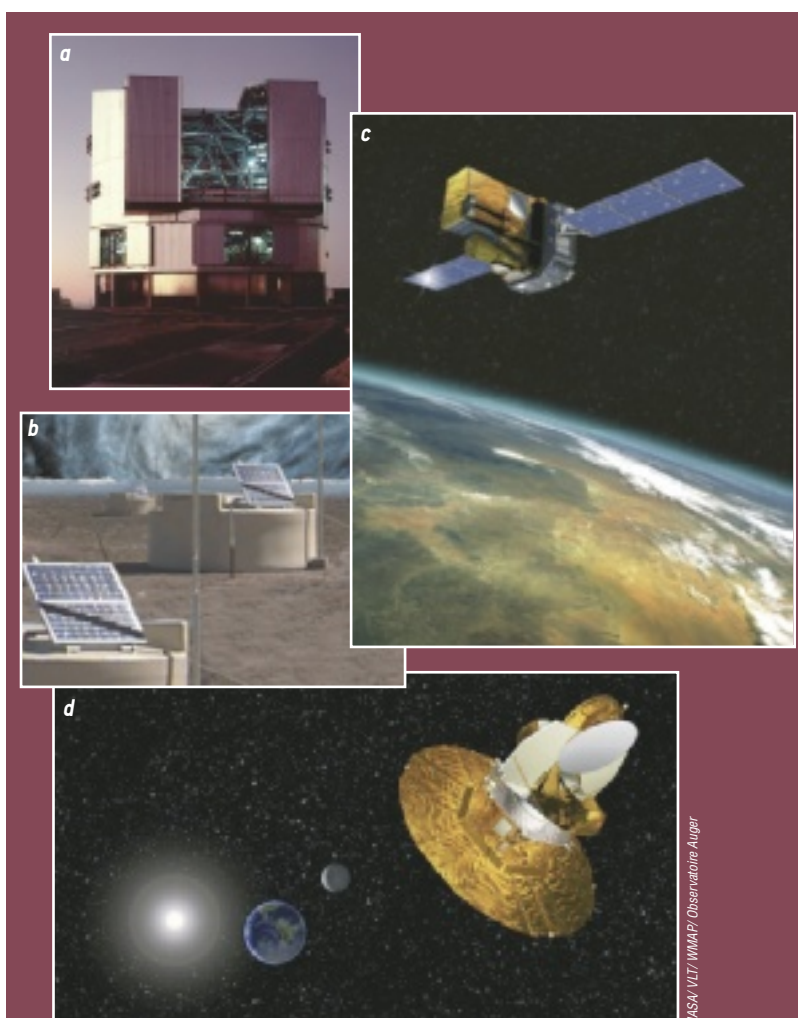
qui ne risque plus de se rompre sous son propre poids. Mais, paradoxalement, on ne cherche pas à obtenir une forme parfaite ; au contraire, en jouant sur la souplesse du miroir, ces vérins permettent de compenser les déformations de l'image dues aux turbulences atmosphériques. Ce n'est plus de l'optique active, mais de l'optique adaptative, c'est-à-dire que les déformations doivent être appliquées en temps réel pour compenser l'effet des turbulences atmosphériques (le temps de réaction est de l'ordre du dixième de seconde, au plus de la seconde). L'électronique doit être suffisamment rapide pour analyser l'image et calculer les perturbations qu'elle a subies ; une petite partie de la lumière recueillie est déviée à cet effet, et permet de suivre comment évolue cette image. Le logiciel de contrôle évalue comment agir sur les vérins pour restaurer une image stable et de qualité. Grâce à cette technique, des miroirs de plus de six mètres ont été construits dès les années 1990.

Aujourd'hui, des miroirs de plusieurs dizaines de mètres de diamètre sont envisagés. Ces télescopes capteront beaucoup plus de lumière, de sorte que l'on détectera la lumière d'objets très faibles avec une résolution notablement améliorée. Le *Very Large Telescope* européen, VLT, installé au Chili, est constitué de quatre télescopes de 8,20 mètres de diamètre. La résolution des images obtenues par le VLT est meilleure que celle du télescope spatial *Hubble*, qui n'est certes pas soumis aux perturbations atmosphériques, mais dont le miroir mesure seulement 2,40 mètre de diamètre, de sorte que la résolution est plusieurs fois inférieure à celle d'un télescope terrestre. Le VLT est capable de distinguer un détail qui correspondrait à une pièce de un euro vue à 320 kilomètres !

Pour la Science : Ces télescopes détectent-ils seulement la lumière visible ?

Roland Lehoucq : Certains d'entre eux détectent, en plus de la lumière visible, une partie du rayonnement infrarouge qui parvient jusqu'au sol, l'essentiel de ce rayonnement étant piégé par l'atmosphère et le reste réémis vers l'espace. Une grande partie de la lumière infrarouge est absorbée par l'atmosphère terrestre. Mais les rayonnements ultraviolet, visible et infrarouge ne représentent qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique. Imaginons que les sept octaves d'un piano représentent le spectre électromagnétique, de l'ultraviolet à l'infrarouge. La lumière visible ne représenterait qu'une seule de ces sept octaves. Cela donne une idée de la pauvreté de l'observation du ciel quand on se contente d'observer dans le visible. C'est pourquoi les astrophysiciens étudient tout le spectre, du rayonnement gamma jusqu'aux ondes radio. Quittant le domaine des ondes électromagnétiques, ils étudient aussi les particules de haute

énergie, détectées au début du XX^e siècle par le physicien allemand Victor Hess. Ces particules sont essentiellement des protons de très haute énergie : quand ils arrivent sur la haute atmosphère, ils interagissent avec les molécules de l'air, et produisent des gerbes de particules secondaires. C'est pour cette raison que les pilotes d'avions qui voyagent à des altitudes élevées sur les vols transatlantiques portent, depuis quelques années, un badge qui enregistre la dose de rayonnement accumulée au fil des vols. On commence à détecter les particules cosmiques de très haute énergie à l'Observa-



L'observation de l'Univers se fait soit de la Terre, par exemple grâce au VLT, qui scrute le ciel en lumière visible (a), à l'Observatoire Auger qui traque les rayons cosmiques de très haute énergie (b), soit de l'espace avec *Integral*, qui détecte le rayonnement gamma (c) ou encore avec WMAP (d), qui enregistre les données du fond diffus cosmologique.