

■ **EN DEUX MOTS** ■ Face à l'afflux des données en provenance des grands observatoires spatiaux ou terrestres, les astronomes rêvent d'utiliser leurs archives comme source d'informations pour

leurs travaux. Ce « ciel virtuel », accessible de jour comme de nuit, et par tous les temps, permettra d'étudier les astres sans faire appel aux télescopes en service. Reste à créer les moyens d'accéder aux

différentes sources, et de les utiliser conjointement. Un prototype européen a été présenté cet été lors de l'assemblée générale de l'Union astronomique internationale.

Et le ciel devint virtuel

Les astronomes se lancent un nouveau défi : observer l'Univers et découvrir de nouveaux objets sans aucun télescope, ni sonde spatiale. Ils commencent à y parvenir grâce aux ordinateurs et aux observations déjà archivées. Un projet ambitieux à l'échelle nécessairement mondiale.

Daniel Egret, astronome, est président de l'Observatoire de Paris. Il travaillait auparavant au Centre de données astronomiques de Strasbourg (CDS).
Daniel.Egret@obspm.fr

Rêvons un peu : c'est la nuit sur la cordillère des Andes. Le télescope *Antu* de l'Observatoire européen austral (ESO) est pointé vers la constellation de l'Aigle pour observer une région de notre Galaxie où des étoiles sont en train de se former. Entourées de cocons de poussières, ces pouponnières d'étoiles ne laissent guère révéler leur contenu. Des astronomes comptent, ce soir, lever un coin du voile en utilisant deux autres instruments : le télescope spatial européen *ISO*, car ses détecteurs sont sensibles aux rayonnements infrarouges qui traversent les nuages de poussières, et *Chandra*, le satellite de la NASA qui capte les rayons X émis par les astres les plus jeunes de notre Galaxie. Or, si *Chandra* est encore en fonctionnement, *ISO* n'est plus qu'un débris dans l'espace circumterrestre. Paradoxe ? Seulement en apparence. Comme les observations d'*ISO* ont été efficacement archivées, elles peuvent être utilisées comme si l'observatoire spatial était encore en activité. Ces bases de données bien organisées peuvent ouvrir des possibilités tout à fait nouvelles aux astronomes pour observer les différents astres et leur évolution. Sans faire appel aux télescopes effectivement en service. Les gains sont évidents : un moindre coût d'études, une

productivité accrue du temps d'observation disponible sur les grands télescopes terrestres et spatiaux, ainsi qu'une utilisation plus efficace des données collectées.

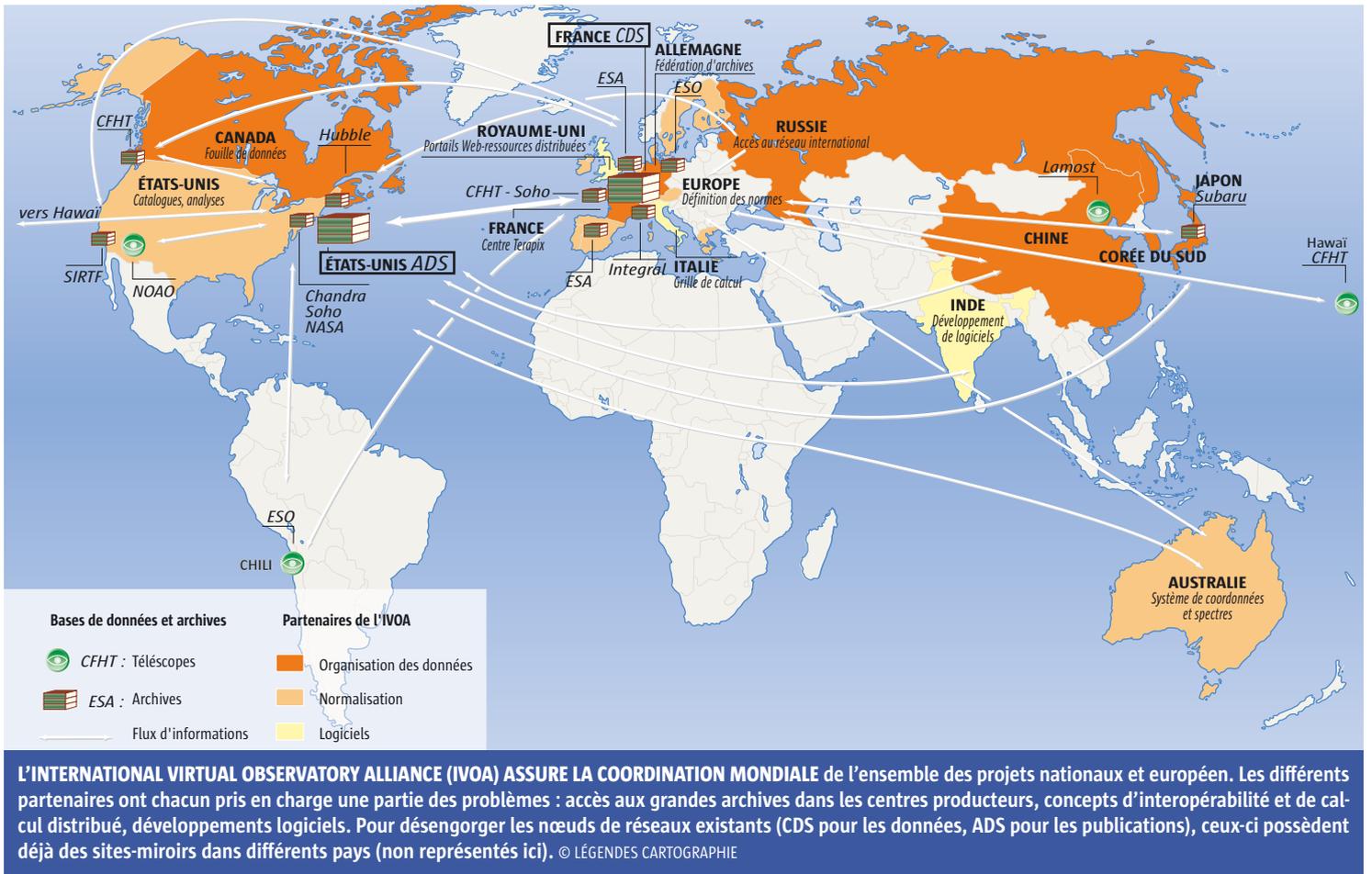
Ce rêve devient réalité puisqu'un pas important a été franchi au début de cette année à Manchester en Grande-Bretagne. Un premier test grandeur nature y a été présenté par les Européens au centre de radioastronomie de Jodrell Bank. Au même moment, les Américains effectuaient eux aussi une première démonstration lors de l'assemblée générale de l'American Astronomical Society, à Seattle. Cet été, l'ensemble des projets a fait l'objet d'une présentation lors de l'assemblée générale de l'Union astronomique internationale qui s'est tenue à Sydney en Australie.



LE HUBBLE DEEP FIELD SOUTH est un

champ de moins d'un degré carré observé par le télescope *Hubble*. Ces données ont généré une série de campagnes d'observations complémentaires. Les plus grands télescopes au sol furent mis à contribution, et des centaines d'articles présentèrent, en comparant les données initiales aux observations, des interprétations nouvelles de ce petit coin de ciel. L'enjeu des observatoires virtuels est maintenant de se donner la capacité d'étendre des études similaires à des régions du ciel beaucoup plus vastes.

© HDFS TEAM/NASA



Les astronomes se montreraient-ils déçus des observations « réelles » ? Pourtant, non ! Les observations n'ont jamais été d'aussi bonne qualité. Leur résolution atteint aujourd'hui le millième de seconde d'arc dans les longueurs d'onde visibles. Et des télescopes, au sol ou dans l'espace, couvrent enfin l'ensemble du spectre électromagnétique, des ondes radio aux rayons gamma très énergétiques. Mais les données s'accumulent et le temps presse. On prévoit que, d'ici à cinq ans, les observations effectuées sur les nouveaux télescopes en construction occuperont en mémoire jusqu'à 5 000 milliards d'octets chaque nuit. Une partie importante de cette avalanche de données risque de rester inexploitée. En imaginant le concept d'observatoire virtuel, les astronomes du monde entier ont décidé de mettre de l'ordre dans leur(s) ciel(s) archivé(s).

Des archives dispersées

D'ailleurs, ce n'est pas un hasard si les principaux promoteurs de l'observatoire virtuel aux États-Unis (George Djorgovski à Caltech, ou Alex Szalay à l'université Johns Hopkins de Baltimore) et en Europe (Peter Quinn à l'ESO) sont par ailleurs responsables de grands relevés complets – ou partiels – du ciel. Ces programmes consistent en l'observation systématique de la voûte céleste avec un instru-

ment donné, afin d'enregistrer un « ciel de référence » qui sera la source de nombreuses études ultérieures (lire « Ciel de référence et catalogues de sources », p. 60).

Avant l'essor de l'astronomie spatiale, dans les années soixante-dix, il était commun que les observateurs disposent de leurs données sous forme de clichés ou, plus récemment, de supports magnétiques. Mais les analyses ne pouvaient être réalisées dans les observatoires, qui n'étaient pas équipés pour cela. Chaque observateur les emportait donc dans son institut d'origine. Aucune archive n'était conservée par l'observatoire producteur. La responsabilité de l'archivage était ainsi laissée à l'astronome observateur qui ne disposait généralement d'aucun moyen pour renouveler son mode de stockage en fonction de l'évolution des technologies.

Tout a changé à partir des années soixante-dix quand des télescopes furent embarqués sur des sondes interplanétaires ou des satellites en orbite terrestre. La nécessité de valoriser ces investissements coûteux a incité les responsables de projets à produire un effort spécifique afin de permettre une exploitation multiple des mêmes données.

Pour constituer leur ciel virtuel, les astronomes ne partent donc pas de rien. Depuis trente ans, ils ont imaginé et développé des solutions d'archivage et d'accès aux données. L'une des pièces maîtresses du dispositif interna- ➔

* Le PPARC (Particle Physics and Astronomy Research Council) est l'agence britannique de financement de la physique des particules et de l'astrophysique.

⇒ tional actuel est située en France. Il s'agit du Centre de données astronomiques de Strasbourg (CDS), créé en 1972 à l'initiative d'astronomes français, en particulier de Jean Delhaye, alors responsable de l'astronomie au sein de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS. Hébergé à l'Observatoire astronomique de Strasbourg, ce centre, animé par Françoise Genova, abrite des bases de données utilisées quotidiennement par les astronomes professionnels du monde entier. La plus connue est Simbad. C'est la base de référence pour les objets astronomiques. Elle permet d'identifier les astres déjà observés et mesurés, et d'obtenir immédiatement la liste de tous les articles publiés dans des journaux astronomiques professionnels mentionnant ces objets. Le Centre de données de Strasbourg fournit d'autres services, portant eux aussi des noms inspirés des *Mille et Une Nuits*, évocateurs d'une époque où l'astronomie était florissante dans les plaines de la Mésopotamie : la base Vizir rassemble les tables et catalogues d'observations, tandis qu'Aladin est l'atlas interactif des images du ciel.

Un espéranto astronomique

Un autre service d'information, vite devenu indispensable pour les astronomes professionnels, est la base de données ADS (Astrophysics Data System), financée par la NASA, qui recense la totalité des articles publiés dans les journaux et revues astronomiques. ADS donne accès aux résumés et, le plus souvent aussi, au texte complet des articles sous forme

numérisée. ADS est donc une bibliothèque virtuelle. Elle recense près de trois millions d'articles.

Pour accéder au statut d'observatoire virtuel, ces différents services doivent communiquer entre eux. Et donc parler la même langue. Un chercheur qui interroge la base Simbad du CDS à propos de la nébuleuse de l'Aigle (Messier 16 ou NGC 6611) y trouvera un certain nombre d'informations de référence, comme sa position dans le ciel et la liste complète des articles le mentionnant. Mais il ne trouvera pas les textes complets qui, eux, sont fournis par le serveur ADS. Quand le chercheur devait interroger successivement les deux systèmes, cela prenait de nombreuses heures de travail. D'où l'idée qu'une référence trouvée dans la base de données des objets astronomiques (Simbad) soit transmise automatiquement au serveur d'articles

(ADS). C'est ce que les ingénieurs appellent l'interopérabilité, c'est-à-dire la capacité pour un système (base de données ou plus généralement service d'information) d'interagir avec un autre système, souvent situé à un autre endroit dans le monde, pour élaborer la réponse complète à une question complexe. Cela n'était jusqu'à présent possible que dans des cas simples, comme la recherche des publications concernant un unique objet. Récemment, un groupe de travail international, à l'initiative des Européens, s'est consacré à ce problème central. Il a proposé une norme commune de description des tables de données, appelée VOTable, utilisant le langage XML, conçu au départ pour la documentation. Cette norme prévoit une procédure simple pour organiser et décrire les informations résultant d'une requête à une



LES GRANDS TÉLESCOPES, COMME CEUX DU VLT RÉCEMMENT CONSTRUITS AU SOMMET DU MONT PARANAL (CHILI), génèrent un véritable déluge de données : c'est maintenant en téraoctets (soit mille milliards d'octets) par nuit que se chiffrent les besoins d'archives. Les projets d'observatoires virtuels sont une réponse à l'accroissement constant de la taille des surfaces collectrices (tels les télescopes de 8 à 10 mètres de diamètre) et de la sensibilité des détecteurs (les matrices de détecteurs CCD seront bientôt capables de produire des images comportant plusieurs milliards de pixels). © RAPHAEL GAILLARDE/GAMMA

HORIZON

Ciel de référence et catalogues de sources

■ **CARTOGRAPHIER** le ciel de façon systématique est une activité ancienne et traditionnelle de l'astronomie. Sans remonter jusqu'à l'*Almageste* du Grec Ptolémée (II^e siècle apr. J.-C.), la réalisation de la « Carte du ciel » a mobilisé 18 observatoires en Europe et dans le monde pendant plus d'un demi-siècle, à partir des années 1870, afin de mesurer 4 millions de positions stellaires ! Dans les années 1950, l'ambition d'une cartographie complète du ciel se concrétisa par la réalisation d'un atlas photographique comprenant environ 1 500 clichés sur des plaques de verre de 30 centimètres de côté. Ce sont ces clichés, réalisés au mont Palomar (États-Unis) et complétés, pour le ciel austral, par ceux obtenus grâce au télescope anglo-australien de Siding Springs, qui ont servi de « ciel de référence » jusqu'à l'époque actuelle. Pour les besoins modernes, par exemple le pointage du télescope spatial *Hubble*, il a été décidé de les numériser. En y adjoignant des clichés obtenus plus récemment avec d'autres filtres de couleur et en produisant de façon automatique la liste des astres visibles sur ces clichés, on a réalisé ce que les astronomes appellent des « catalogues de sources ». Ils peuvent contenir jusqu'à 1 milliard d'objets, généralement identifiés comme étoiles, galaxies ou nébuleuses.

Une nouvelle génération de relevés utilisant directement des caméras numériques est maintenant en train de prendre le relais : ainsi le programme Sloan Digital Sky Survey entreprend actuellement de cartographier un quart du ciel en cinq couleurs et de recenser plusieurs centaines de millions d'objets.

FINANCEMENTS

Des projets, des budgets

LE CONCEPT D'OBSERVATOIRE VIRTUEL FUT PROPOSÉ PAR L'AMÉRICAIN ALEX SZALAY, responsable du traitement de données du Sloan Digital Sky Survey, au cours de l'exercice de prospective décennale de l'astronomie américaine pour 2001-2010, piloté par l'Académie des sciences américaine [1]. Dès novembre 2001, la NSF (National Science Foundation) reprenait l'idée et allouait au projet, baptisé National Virtual Observatory (NVO), une première enveloppe de 10 millions de dollars pour cinq ans, sur des fonds de la recherche en technologie de l'information.

L'Europe n'était pas en reste. L'Agence spatiale européenne et l'Observatoire européen austral (ESO) ont, dès 2000, entamé une phase exploratoire en lançant AstroVirtel, un programme qui devait améliorer l'accès aux archives des deux organisations. En trois ans, une petite quinzaine de projets scientifiques,

comme la recherche de supernovae ou d'astéroïdes, furent financés pour démontrer que des études scientifiques pouvaient être menées à bien à partir d'images archivées. Une deuxième phase, le projet d'Observatoire astronomique virtuel (AVO), a reçu en novembre 2001 un financement de 4 millions d'euros de la part de la Commission européenne. Les Britanniques ont d'abord commencé seuls, avant de rejoindre le projet européen : le PPARC* a financé l'Astrogrid à hauteur de 6 millions d'euros. Au total, près de 25 millions d'euros sont déjà engagés sur ces différents projets d'observatoires virtuels. International Virtual Observatory Alliance (IVOA), une structure internationale créée en juin 2002, fédère l'ensemble de ces projets qui collaborent étroitement à la définition de normes communes. Et ce, malgré la compétition actuelle entre équipes des deux côtés de l'Atlantique.

[1] *Astronomy and Astrophysics in the New Millennium : an Overview*, The National Academies Press, 2001.

base ou à un système d'archivage. Accepté par l'ensemble des projets d'observatoire virtuel, VOTable est maintenant le langage commun des différents prototypes existant dans le monde.

Les premiers résultats de ces efforts ne se sont pas fait attendre : des prototypes couvrant pour l'instant un nombre limité d'observations ont servi de démonstrateurs pour convaincre la communauté des astronomes que la direction choisie était la bonne. Par exemple, Davy Kirkpatrick et Bruce Berriman, du Jet Propulsion Laboratory (Californie), ont confirmé en mars l'existence d'une naine brune observée par le Sloan Digital Sky Survey, non pas en réobservant le champ stellaire concerné, mais en analysant les données d'un autre relevé du ciel, le 2MASS*. Il reste néanmoins un long chemin avant que le concept d'observatoire virtuel ne devienne réalité. Il faut continuer l'inventaire des données existantes à l'échelle internationale, déployer un ensemble cohérent d'archives, de relevés, de services et de dictionnaires de référence. Il faut aussi mettre en place des modes d'accès normalisés aux données. Sans compter le développement des outils de

traitement et d'analyse. Ces recherches, menées en commun avec les statisticiens et les spécialistes du traitement de l'information, devraient bénéficier des avancées actuelles dans la gestion des ressources de calcul distribué tels les différents programmes GRID [1]. Grâce à ces développements, il deviendra possible de réaliser, au sein de listes comprenant des milliards d'observations, l'identification croisée des sources observées à plusieurs longueurs d'onde. L'enjeu en est la découverte, au sein de ces très vastes ensembles de données, de groupes particuliers partageant les mêmes caractéristiques. Avec, à la clé, l'éventuelle mise en évidence de quelques échantillons d'objets rares, voire inattendus.

Ce challenge ne se fera pas sans heurts. Faire dialoguer des systèmes d'information et trouver un accord sur les formats, les protocoles ou les normes supposent des collaborations, des réunions de coordination et, souvent, l'acceptation de compromis. C'est un travail de longue haleine, car il faut vaincre patiemment les réticences, les susceptibilités et les compétitions entre équipes : il est arrivé qu'une proposition innovante du CDS de Strasbourg recueille le consensus, conciliant ainsi des équipes américaines concurrentes qui n'avaient pu trouver entre elles un terrain d'entente.

Dans quelques années, l'observatoire virtuel sera omniprésent dans le travail quotidien des astronomes professionnels. Ils disposeront ainsi, sur leur bureau ou leur espace de travail, d'une fenêtre ouverte en permanence sur l'Univers observé par les plus grands télescopes. Une partie des découvertes futures est déjà présente dans les images du passé. ■ D. E.

* Le 2MASS (Two Micron All Sky Survey) est un programme américain d'observation systématique du ciel en infrarouge, dont la version finale a été publiée en mars 2003.

[1] V. Alessandrini, « L'ambition d'un ordinateur planétaire », *La Recherche*, juin 2002, p. 41.



CENTAURUS A EST UNE GALAXIE À NOYAU ACTIF, située à 13 millions d'années lumière. La comparaison de ses émissions observées par deux télescopes différents, en lumière visible (en haut) et aux rayons X (en bas) prend en compte la nature des télescopes, les champs observés et la manière de présenter les données. Ce serait plus facile si ces paramètres étaient normalisés à l'échelle mondiale.

POUR EN SAVOIR PLUS

Les projets d'observatoire virtuel :
<http://www.us-vo.org>
 Aux États-Unis.
<http://www.euro-vo.org>
 En Europe.

<http://www.ivoa.net/>
 Dans le monde (Alliance internationale).
<http://cdsweb.u-strasbg.fr/CDS-f.html>
 Le site du Centre de données astronomiques de Strasbourg (CDS).