

L'archéologie à distance

FAROUK EL-BAZ

Les techniques de télédétection transforment le travail des archéologues, qui n'ont plus à creuser la terre pour comprendre le passé.

Rub'al-Khali, le «Quartier vide» d'Arabie, est un désert de plus de 770 000 kilomètres carrés. Les légendes rapportent qu'il était jadis plus accueillant : n'y avait-il pas la cité d'Ubar, une oasis située le long de la route de l'encens et que le Coran nomme la «Ville des Colonnnes»? Thomas Lawrence lui-même, mieux connu sous le nom de Lawrence d'Arabie, a cherché, sans succès, cette «Atlantide des sables».

Où chercher Ubar? Récemment, la navette spatiale et des satellites *Landsat* ont détecté de fines lignes qui convergent en un point niché au sein des dunes. Ce point de convergence était-il un cimetière ou une ville? Des expéditions ont été organisées en 1990 et 1991, et des fouilles effectuées le long d'une route ont mis au jour la structure d'une ville fortifiée, enfouie depuis des siècles.

De l'autre côté de la planète, dans le désert du Nouveau-Mexique, la télédétection par radar de sondage terrestre a révélé l'existence d'autres vestiges, bien plus anciens. Les réflexions d'ondes radar émises dans le sol révèlent les différentes couches de terre et de roche, et même des restes de dinosaures. Des paléontologues ont ainsi dégagé des fossiles de sismosaures, dinosaures herbivores qui faisaient trembler le sol lorsqu'ils se déplaçaient.

Dans l'espace ou au sol, les instruments de télédétection sont de plus en plus utilisés par les archéologues. À l'aide de radars, de magnétomètres ou de sismomètres, ces derniers localisent plus facilement les sites à fouiller, et ils les explorent de près sans les détruire. La pelle et la pioche sont progressivement remplacées par le radar, le magnétomètre ou le sismomètre, d'un maniement plus raffiné.

Bien que des aviateurs prennent des photographies depuis le début du ^{xx}e siècle, la télédétection n'est appliquée à la Terre que depuis 1968 : lorsque

les astronautes d'*Apollo* envoient les premières images de notre planète prises de la Lune, le public abasourdi contemple la sphère bleue sur le fond noir du vide spatial. Plus tard, des astronautes en orbite autour de la Terre aperçoivent la Grande Muraille de Chine, qui court dans les montagnes chinoises, et la Grande Pyramide, qui surplombe le plateau de Gizeh, à l'Ouest du Nil.

Des ressources agricoles à l'archéologie

En 1972, la NASA lance le premier satellite *Landsat*, d'observation et d'étude des régions agricoles. L'intensité du rayonnement infrarouge réfléchi par la végétation permet la prévision du rendement des récoltes (les plantes ont un fort pic d'émission dans l'infrarouge) : plus la récolte de blé est abondante, plus la réflexion correspondante est forte. Progressivement, des géographes, des géologues et des archéologues s'intéressent à ces images. À la fin des années 1970, des archéologues utilisent les satellites *Landsat* pour localiser des ruines Maya dans la jungle dense de la péninsule du Yucatán et d'anciennes constructions dans les plaines de Mésopotamie.

Puis, dans les années 1980, Thomas Sever, de la NASA, et Payson Sheets, de l'Université du Colorado, installent des caméras à infrarouge sur des avions : les photographies prises à basse altitude sont plus précises que celles fournies par les satellites. Dans la région de Tilarán, au Nord-Ouest du Costa Rica, ils observent une ligne bizarre et sinueuse. Sur certaines images, cette marque traversait en ligne droite les collines et les vallées : des fouilles de terrain confirment que ce sont des sentiers, tracés il y a 1 000 à 2 000 ans, qui relient des cimetières, des villages et des carrières.

Des routes anciennes sont aussi détectables par satellite, comme le prouve l'exemple d'Ubar, mais les détails

révélés par les photographies aériennes sont plus précis : T. Sever et P. Sheets ont facilement trouvé l'emplacement exact des pistes qu'ils cherchaient. La même équipe a découvert, dans le canyon du Chaco, au Nouveau-Mexique, d'autres routes préhistoriques qui prouvent que la civilisation Chaco faisait partie d'un vaste réseau commercial.

En 1986, le Centre national d'études spatiales améliora notablement les outils de la télédétection grâce au satellite *SPOT*. Celui-ci produit des images multibandes, en observant simultanément et séparément dans le vert, l'orange-rouge et l'infrarouge proche. Sur ces images, les plus petits détails ont 20 mètres de côté. Un autre mode d'observation est possible, avec des capteurs sensibles à toutes les longueurs d'onde de la lumière visible : on obtient des images en noir et blanc, dont la résolution est abaissée à dix mètres (les trois premiers satellites *Landsat* avaient une précision inférieure à 80 mètres, et les deux suivants de 30 mètres). Les images de *SPOT* ne sont pas aussi précises que les photographies aériennes, mais elles couvrent des zones plus vastes, ce qui permet d'étudier une région entière. James Wiseman et ses collègues, de l'Université de Boston, ont utilisé des photographies *SPOT* du Nord-Ouest de la Grèce pour retracer l'ancienne ligne littorale de la baie d'Ammoudhia, qui abritait un port important : ils ont cartographié les anciens chenaux et les bras de mer.

L'imagerie radar spatiale est un autre outil remarquable pour l'archéologie. Elle a été mise en œuvre pour la première fois lors du vol inaugural

1. CETTE IMAGE RADAR de la péninsule arabe révèle d'anciennes pistes, invisibles du sol. Leur point de convergence serait la cité perdue d'Ubar. L'image, qui couvre une surface de plus 50 kilomètres sur 80, a été prise en 1994 de la navette spatiale *Endeavour*.



Les pistes apparaissent comme des lignes rougeâtres. Certaines ont été utilisées récemment, mais des fouilles ont révélé que quelques-unes étaient parcourues il y a plusieurs milliers d'années.

Le lit d'une rivière asséchée apparaît en blanc.

Les zones en vert indiquent la présence d'un terrain désertique calcaire.

D'immenses dunes de sable s'étendent à travers les zones colorées en magenta.

de la navette spatiale, en novembre 1981, fournissant de nombreuses images de l'Est du Sahara. En 1984, puis en avril et en octobre 1994, des radars embarqués à bord de la navette spatiale ont enregistré des images de la péninsule arabe. Le plus récent de ces radars émet des ondes polarisées (dont le champ électrique est précisément orienté) dans deux directions, révélant des détails supplémentaires dans les régions photographiées.

Les origines de l'Égypte antique

J'ai notamment utilisé les images radar du désert occidental de l'Égypte, à proximité de la frontière du Soudan. Le terrain est couvert d'une couche de sable épaisse et plate, seulement ponctuée par de petites collines. Sur les images radar, nous avons découvert les lits asséchés de trois grands fleuves dont la largeur avait atteint 20 kilomètres. Les collines étaient d'anciennes îles créées par l'érosion fluviale. Des haches, découvertes par les archéologues sur les rives de ces anciennes voies navigables, ont prouvé que des hommes y ont vécu il y a 200 000 ans. Sans le radar, comment aurions-nous soupçonné le passé de cette région, enfoui sous cinq mètres de sable ?

Cette découverte confirme l'hypothèse que le désert égyptien occidental, aujourd'hui l'endroit le plus sec de la planète, a été humide il y a 5 000 à 11 000 ans. Selon Fred Wendhorf, de l'Université méthodiste méridionale, la hauteur de pluie a augmenté dans cette région de moins de un à 20 millimètres par an, il y a 11 000 ans. Des plantes herbacées et des buissons épineux, semblables à ceux qui survivent dans des environnements arides actuels, telle la Vallée de la Mort en Californie, sont alors apparus. Bien que le climat, instable, ait été marqué de nombreuses périodes de sécheresse, une culture fondée sur l'élevage se développa.

La fin de la période humide, il y a 5 000 ans, coïncide avec le début de la civilisation égyptienne antique. Ces deux événements seraient liés : l'Est du Sahara devenant plus aride, les pasteurs qui y vivaient se sont rapprochés de la seule source d'eau stable, le Nil, et se sont mêlés aux populations sédentaires qui en occupaient déjà les rives. Le mélange des cultures aurait fructifié. Les rivières vivaient en harmonie avec le fleuve, mesurant la force de ses crues annuelles et le canalisant pour irriguer leurs

La télédétection à partir de l'espace...

Trois satellites **Landsat** fournissant des images numériques sont lancés dans les années 1970 sur des orbites polaires : de telles orbites survolent la totalité du Globe et se referment sur elles-mêmes. Elles permettent d'obtenir régulièrement des images des mêmes régions. Les capteurs mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi par les matériaux à la surface de la Terre dans quatre bandes de longueur d'onde : vert, orange, rouge et infrarouge proche. La résolution est de 79 mètres, et chaque image mesure 185 kilomètres de côté.

Landsat 4 et Landsat 5, dans les années 1980, fournissaient des images d'une précision de 30 mètres dans sept bandes de longueur d'onde : trois dans la lumière visible (bleu, vert et rouge), une dans l'infrarouge, deux dans l'infrarouge moyen et une dans l'infrarouge thermique. Les différences entre les matériaux en surface étaient plus visibles.

Les satellites **SPOT** ont été lancés à partir de février 1986 par le Centre national d'études spatiales dans un but commercial. Pour chaque longueur d'onde d'observation, **SPOT** porte une ligne de capteurs perpendiculaire à sa direction de déplacement : lorsque le satellite avance, les capteurs balaient des lignes parallèles. Les images ne sont pas déformées comme avec **Landsat** qui, portant moins de capteurs, utilisait un miroir mobile pour balayer le champ d'observation. En outre, **SPOT** porte deux systèmes identiques d'observation et peut viser en oblique : en combinant deux images prises sous des angles différents, on obtient des vues en relief.

Les radars émettent des micro-ondes vers la surface de la Terre, et ils enregistrent les réflexions. Les échos renvoyés par un terrain rocailleux sont généralement forts, ou « clairs » ; ceux de surfaces plus lisses sont faibles, ou « sombres ». La combinaison de plusieurs longueurs d'onde et de plusieurs polarisations fournit des images en fausses couleurs qui révèlent des détails. Les images radar montrent bien les éléments linéaires, tels les failles et les escarpements. Elles ont ainsi révélé plusieurs tracés d'un tronçon de la Grande Muraille de Chine qui n'étaient pas visibles avec d'autres systèmes d'imagerie.

Le gouvernement américain a récemment publié des photographies prises entre 1960 et 1972 par des satellites espions. La précision de ces photographies en noir et blanc atteint deux mètres. Des prises de vues stéréophotographiques permettent de mesurer des hauteurs, informations importantes pour les recherches archéologiques. Des satellites commerciaux prendront bientôt des images avec une précision de un mètre. Quatre consortiums industriels projettent de lancer et d'utiliser de tels systèmes.



DES TERTRES construits sur une île, à l'embouchure de l'Amazone (en haut à gauche), ont été étudiés avec plusieurs méthodes de télédétection au sol (photographies de droite). L'emplacement et la nature des tertres ainsi déterminés sont indiqués sur le dessin du site (en bas à gauche).



Peinture : Sal Catalano. Photographies : A.C. Roosevelt