

lites ont été mis en orbite, avec des noms de code tels que Keyhole («trou de serrure») : la série commença par des satellites KH 1, 2, 3 et 4, puis suivirent sept satellites KH-5 dans le cadre du programme Lanyard et le satellite KH-6 du programme Argon.

Les satellites étaient lancés sur une orbite elliptique à une altitude com-

prise entre 180 et 930 kilomètres. Ils prenaient chacun des milliers de photographies au cours d'au moins 16 révolutions orbitales d'une durée d'une heure et demie chacune. Après 1962, l'utilisation de deux caméras permit de réaliser des prises de vues stéréoscopiques. Au moment opportun, une rétrofusée renvoyait la capsule conte-

nant le film vers la Terre. Dérivant au bout d'un parachute, la capsule et son précieux contenu étaient récupérés en vol par un avion militaire.

L'obtention de photographies à partir de satellites n'était que le début de l'élaboration du renseignement. Des spécialistes devaient ensuite détecter, identifier, décrire et évaluer les objets et motifs

Une planète surveillée

Aujourd'hui n'importe qui peut acheter des prises de vues provenant de satellites et les exploiter, avec des moyens informatiques modestes, de façon à obtenir des images de la surface terrestre de résolution supérieure à celles montrées dans cet article.

De nombreux satellites d'observation de la Terre forment un filet qui enserrera notre planète et scrutent en permanence sa surface, terrestre ou maritime. Les domaines d'application sont variés : cartographie, sciences de la Terre, aménagement du territoire, écologie et, bien entendu, renseignement militaire ou gouvernemental, ainsi que surveillance et gestion des crises.

Ces satellites, à de rares exceptions près, n'embarquent plus d'appareils de photographie à sels d'argent, dont la récupération des clichés est délicate. Ils mesurent les radiations électromagnétiques émises ou réfléchies par la Terre dans des gammes de fréquence beaucoup plus étendues que celle de la lumière visible et qui vont de l'infrarouge aux ondes radar, permettant d'accéder à des informations impossibles à obtenir par un simple examen visuel. Les valeurs des mesures radiométriques correspondant à de petits rectangles de la surface terrestre sont rangées dans des tableaux de chiffres à double entrée. Ce sont ces tableaux, mis sous forme de fichier numérique, que l'on nomme des «images». Leur traitement par ordinateur permet de créer sur l'écran quantité d'images dérivées mettant en valeur l'information recherchée.

Les satellites de la série Keyhole, lancés pour observer un événement spécifique, passaient à basse altitude au-dessus de la zone où se déroulait cet événement : ils subissaient un freinage atmosphérique qui limitait leur durée de vie à quelques pas-

sages. Aujourd'hui les satellites d'observation sont généralement héliosynchrones (dont le plan de l'orbite reste parallèle à la direction du Soleil), à une altitude telle que le frottement atmosphérique est négligeable. Le but est de faire passer le satellite à la même heure solaire, à une latitude donnée, et de le faire repasser sur les mêmes traces au sol, avec une périodicité donnée. Suivant la périodicité choisie, l'altitude varie entre 600 et 1 000 kilomètres. Les progrès en gravimétrie et en mécanique spatiale ont été tels que les orbites sont déterminées à mieux que le décimètre. La prédictibilité des orbites offre en outre l'avantage de pouvoir intégrer les prévisions météorologiques dans la programmation des prises de vues.

La frontière entre satellites militaires et satellites civils est floue, d'une part parce que lanceurs et plateformes sont généralement construits à partir de la même technique et, d'autre part, parce que les procédés de traitement d'images sont les mêmes pour des applications civiles et pour les applications militaires. En outre, le libre accès aux images provenant de satellites commerciaux est un principe juridique reconnu. Ainsi les satellites français de la famille SPOT fournissent depuis dix ans des images commerciales de haute qualité dont une grande partie a été exploitée à des fins de renseignement, tandis que la Fédération de Russie commercialise, à des fins civiles, des images obtenues par des satellites qui étaient initialement réservés au renseignement.

L'imagerie civile se distingue en théorie de l'imagerie civile par la limite de résolution au sol. Au moment du lancement du premier satellite SPOT (SPOT 1, en 1986), cette

limite était juridiquement fixée à dix mètres dans la gamme optique ; une résolution plus fine qualifiait l'image de «militaire». La limite actuelle, fixée à cinq mètres, est théorique : le gouvernement américain a autorisé, en mars 1994, la construction de satellites commerciaux d'observation de la Terre dotés d'un pouvoir de résolution de un mètre. Quickbird, premier satellite commercial à cette résolution, devrait être lancé en 1997, suivi, la même année, par Worldview Imaging. Aucune limite n'est fixée pour l'imagerie radar et l'imagerie infrarouge, dont les longueurs d'onde ne permettent pas d'atteindre la même résolution au sol que les ondes lumineuses, mais donnent accès à une grande richesse d'informations.

La résolution n'est toutefois pas une panacée, ne serait-ce qu'en raison du flux de données qu'elle engendre, et il importe toujours de choisir des images dont la résolution est adaptée à l'application envisagée.

Les informations recherchées sur les images spatiales ont souvent un caractère d'urgence et sont parfois d'importance vitale pour la sécurité d'un pays. Il est donc compréhensible qu'un gouvernement ne puisse faire une confiance totale à des systèmes commerciaux dont les images sont susceptibles d'être soumises à embargo ou dont la totale disponibilité en cas de crise ne serait pas garantie, et qu'il soit nécessaire de développer, parallèlement à des systèmes commerciaux, des systèmes exclusivement consacrés à la défense. Dans un programme de défense commun, la France, l'Italie et l'Espagne ont lancé, en 1995, un satellite d'observation de la Terre, Hélios, exclusivement militaire.

Philippe DELAVEAU
Centre géographique interarmées

présents sur les photographies. Cette tâche, parfois fastidieuse, requiert beaucoup d'attention et, souvent, de l'intuition. Les analystes identifient des «signatures», qui sont des caractéristiques reconnaissables présentant un intérêt. Par exemple, on peut repérer une unité de blindés grâce à des traces parallèles ayant l'air de pistes de bowling, qui sont, en fait, les pas de tir des chars.

Ces signatures sont soigneusement répertoriées dans des manuels de clés de photo-interprétation. Chaque manuel couvre un sujet et un pays donnés, comme par exemple les missiles déployés par la Chine. Les analystes utilisent ces manuels régulièrement mis à jour, à la fois au quartier général et sur le terrain.

La photo-interprétation a connu son baptême du feu lors de la Seconde Guerre mondiale, quand les analystes alliés ont mis au point un système fondé sur trois phases distinctes de distribution des informations. Au cours de la première phase, dite de «flash», les informations jugées vitales pour le combat étaient envoyées en urgence aux commandants présents sur le terrain. La deuxième phase était une étude plus détaillée des photographies ; elle donnait lieu à un rapport écrit. Au cours d'une troisième phase, l'analyse était encore affinée. À quelques exceptions près, le système reste utilisé aujourd'hui. Depuis 1961, cette activité se poursuit au Centre américain d'interprétation photographique pour l'ensemble de la communauté de renseignements des États-Unis.

Le stockage et la manipulation des images numériques ont bouleversé la photo-interprétation, car ces techniques permettent un stockage plus compact des photographies, un accès aux images plus rapide et plus pratique ; de surcroît, des traitements automatiques des images détectent des caractéristiques spécifiques. Elles permettent également de retrouver, à des fins de comparaison, d'anciennes images du même site ou d'un site similaire. La photogrammétrie détermine enfin les dimensions de tout objet ou site figurant sur l'image à l'aide des prises de vues stéréoscopiques, sous réserve d'introduire dans l'ordinateur un certain nombre de données (altitude, distance focale de l'objectif, etc.).

La psychologie est également utile en photo-interprétation : les populations en général, les militaires en par-



LE 8 SEPTEMBRE 1967, SUR LE SITE DE MISSILES INTERCONTINENTAUX D'IMENI GASTELLO, EN URSS

Les routes étant rares en URSS, les militaires devaient installer leurs sites de missiles intercontinentaux à proximité de voies ferrées. Aussi la construction de sites de missiles imposait-elle quelques étapes supplémentaires, très utiles aux analystes américains. Des routes de «classe I», plus larges que les routes ordinaires, avec des virages moins serrés que sur les routes normales, permettaient la circulation des convois qui transportaient les missiles vers leurs silos. Sur la photographie ci-dessus, le silo se présente sous la forme d'un point sombre qui se détache sur la surface claire d'une étendue triangulaire de béton située au bout d'une voie d'accès. Le silo est entouré de trois clôtures de sécurité, ce qui confirme l'importance du site.



LA MER D'ARAL, LE 29 AOÛT 1962 ET DU 1^{ER} AU 10 AOÛT 1994

La mer d'Aral s'est réduite de façon alarmante au cours des 32 dernières années, parce que les rivières qui l'alimentaient ont été tarées par les barrages et par les prélèvements d'eau pour l'irrigation. L'image satellite de droite est un assemblage de plusieurs photographies prises durant un intervalle d'une semaine et demie.

ticulier, vivent conformément à des règles et des coutumes qui déterminent les structures observables sur les images. Pour savoir quels sont les bâtiments les plus importants d'un site militaire, il suffit d'attendre une chute de neige : les voies menant au quartier général et aux latrines sont toujours déneigées les premières. En outre, les bâtiments occupés sont ceux qui sont chauffés et, par conséquent, sur les toits desquels la neige a fondu.

Pratiquement partout dans le monde, le dimanche est jour de repos. Le dimanche matin (et les jours de congé) est donc le meilleur moment pour faire l'inventaire des équipements d'un adversaire, alors qu'ils sont garés ou rangés dans leur garnison. Les forces

des armées de terre sont faciles à évaluer pendant les exercices d'entraînement, qui se déroulent généralement au printemps et en été, lorsque la terre est ferme et que la capacité de mouvement des troupes n'est pas entravée par un habillement lourd ou par le mauvais temps.

Parmi les centaines d'événements observés de 1960 à 1972 figurent : le premier accident nucléaire, qui s'est produit en 1957 à Kystym, en URSS ; la guerre de 1962 entre l'Inde et la Chine ; les attaques aériennes d'Israël contre l'Égypte, la Jordanie et la Syrie durant la guerre des Six-Jours ; la guerre du Viêt Nam ; les affrontements entre l'Inde et le Pakistan en 1965 et 1971 ; l'invasion soviétique de la Tchécoslovaquie

et le déploiement de forces militaires le long de la frontière sino-soviétique dans les années 1970. Le programme Corona a également fourni une large couverture de régions du monde reculées et rarement observées, comme la Nouvelle-Zemble, où les Soviétiques procédaient à des essais d'armes nucléaires, le Tibet, annexé par la Chine en 1950, ou le désert du Kalahari.

Grâce aux images satellites, mes collègues et moi-même avons appréhendé l'extrême fragilité de notre planète. À maintes reprises, nous avons vu disparaître la totalité des arbres de régions à la végétation clairsemée pour servir de bois de chauffage, nous avons vu abattre ou brûler d'immenses étendues de forêts équatoriales, nous avons

LE 14 JANVIER 1945, AU CAMP DE LA MORT D'AUSCHWITZ-BIRKENAU, EN POLOGNE

La reconnaissance des Alliés effectuée en appui des missions de bombardement contre l'usine *I.G. Farben* de caoutchouc synthétique et de carburant, en 1944 et 1945, a fourni des images du camp d'Auschwitz-Birkenau, situé à proximité. Ces photographies n'ont été analysées qu'en 1978, lors de leur découverte dans les archives du ministère américain de la Défense. La photographie reproduite ici, prise au moment de l'approche des troupes soviétiques, le 14 janvier 1945, montre la neige dont parle Elie Wiesel, alors prisonnier dans le camp, dans son ouvrage *La nuit*. Les chambres à gaz ont été démantelées ou sont en train de l'être, et l'évacuation du camp a commencé.

Une épaisse couche de neige sur les toits des baraquements des femmes indique qu'ils ont été évacués. La plupart des femmes, parmi lesquelles Anne Frank, avaient été envoyées à Belsen ; les hommes furent ensuite transférés à Buchenwald et dans d'autres camps. Au moment où cette photographie a été prise, le camp des hommes et les baraquements des SS étaient encore en grande partie occupés, comme l'indique la fonte de la neige sur les toits des bâtiments chauffés. Chaque baraque du camp des hommes abritait environ 1 000 détenus ; à cette date, il restait donc près de 80 000 prisonniers sur les 250 000 que le camp contenait habituellement. Après l'évacuation des plus robustes, 8 000 prisonniers malades ou exténués ont été abandonnés, puis libérés par les troupes russes, le 27 janvier.

