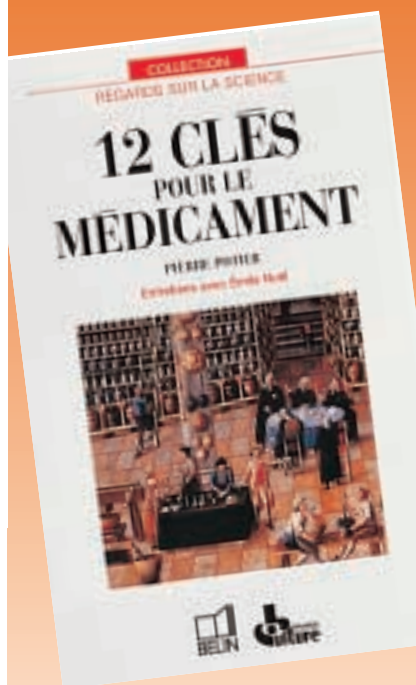


Entretiens avec Émile Noël



12 CLÉS POUR LE MÉDICAMENT

La plupart des médicaments actuels sont d'origine naturelle. Découverts le plus souvent par hasard, certains sont hérités du passé, d'autres sont plus récents. La quête de nouveaux produits toujours plus efficaces et mieux tolérés reste l'un des objectifs de la recherche de pointe.

Code : 2020 215 pages – 75 F



Bon de commande en p. 98

En réalité, la plupart des vésicules observées au microscope dans les cellules ne semblent pas être enveloppées : faut-il en conclure que le phénomène de bourgeonnement que nous avons décrit ne concerne que les vésicules COP ou les vésicules à clathrine ? Bien sûr que non. Cette absence fréquente d'enveloppe est simplement due au fait que l'enveloppe se désagrège rapidement après le bourgeonnement, rendant difficile sa visualisation par les méthodes classiques d'observation. C'est ainsi que, dans l'histoire de la découverte des vésicules, on a souvent supposé que leur formation survenait par un mécanisme différent de celui expliqué ici... jusqu'au moment où un système acellulaire de bourgeonnement était mis au point et permettait de surprendre l'état transitoirement « habillé » de la vésicule.

Ainsi les vésicules qui transportent des protéines du réticulum endoplasmique vers l'appareil de Golgi sont les dernières en date pour lesquelles on a récemment trouvé une enveloppe. Randy Schekman, de l'Université de Berkeley, L. Orci et leurs collaborateurs respectifs ont montré que, dans ce cas, le rôle de l'ARF est tenu par une molécule analogue et qui déclenche le bourgeonnement. Un autre ensemble de protéines, nommées protéines COP II, remplace le coatomère.

Aujourd'hui il est quasi certain que toutes les cellules à noyau utilisent le même principe de formation des vésicules de transport. Ce système est si efficace qu'il a été conservé lorsque des espèces très simples, unicellulaires, ont évolué et formé des êtres pluricellulaires plus complexes. L'ARF ou une molécule apparentée déclenche la formation de l'enveloppe en captant

de la GTP et en se fixant sur la membrane. Cet initiateur recrute ensuite des composants supplémentaires, qui s'enchaînent en un dôme sphérique. Ainsi une petite partie de la membrane bourgeonne sous la forme d'une vésicule recouverte par une enveloppe. Ultérieurement les molécules de GTP favorisent l'élimination de l'enveloppe, pour laisser la vésicule fusionner avec un organelle cible.

Si l'enveloppe n'est importante que pour le bourgeonnement, pourquoi les cellules en utilisent-elles plusieurs sortes ? Sans doute parce que l'enveloppe sélectionne le contenu des vésicules. Parfois les protéines transportées se trouvent dans la membrane, directement fixées sur l'enveloppe. Parfois la « cargaison » est associée à l'enveloppe par un intermédiaire – un récepteur – qui plonge dans la membrane. L'emploi d'enveloppes différentes permettrait d'« embarquer » différentes cargaisons à partir d'un point de départ unique ou de compartiments différents.

D'autres questions restent ouvertes. On connaît mal, notamment, le mécanisme détaillé de la fixation de l'ARF ou des molécules analogues à la membrane, ou de l'ancrage aux protéines du coatomère. Certains lipides (des molécules de graisse) semblent aider l'ARF à capter le coatomère, et les protéines de transport pourraient participer à l'élaboration de l'enveloppe. Nous aimerions également mieux connaître les activités spécifiques des diverses sous-unités du coatomère. La biologie des vésicules a bien progressé, et il est apparu qu'aucune ville n'est aussi efficace que les cellules pour acheminer ses travailleurs de place en place.

James ROTHMAN dirige le Programme de biochimie et biophysique du Centre de recherche sur le cancer Memorial Sloan-Kettering. Lelio ORCI est directeur du Département de morphologie et professeur d'histologie et de biologie cellulaire à l'Université de Genève.

L. ORCI, B.S. GLICK et J.E. ROTHMAN, *A New Type of Coated Vesicular Carrier That Appears Not to Contain Clathrin : Its Possible Role in Protein Transport within the Golgi Stack*, in *Cell*, vol. 46, n° 2, pp. 171-184, 1986.

M.G. WATERS, T. SERAFINI et J.E. ROTHMAN, «Coatomer» : A Cytosolic Protein Complex Containing Subunits of Non-

Clathrin-Coated Golgi Transport Vesicles, in *Nature*, vol. 349, pp. 248-251, 17 janvier 1991.

T. SERAFINI, L. ORCI, M. AMHERDT, M. BRUNNER, R.A. KAHN et J.E. ROTHMAN, *Coated Vesicles*, in *Cell*, vol. 67, n° 2, pp. 239-253, 18 octobre 1991.

J. OSTERMANN, L. ORCI, K. TANI, M. AMHERDT, M. RAVAZZOLA et J.E. ROTHMAN, *Stepwise Assembly of Functionally Active Transport Vesicles*, in *Cell*, vol. 75, n° 5, pp. 1015-1025, 3 décembre 1993.

J.E. ROTHMAN, *Mechanisms of Intracellular Protein Transport*, in *Nature*, vol. 372, pp. 55-63, 3 novembre 1994.



Algorithmes et Optimisation

La Société de Calcul Mathématique, S.A

Des solutions algorithmiques efficaces au service des entreprises, dans tous les domaines :

- optimisation de stocks, de transports, de livraisons,
- mathématiques économiques, bancaires, financières ; algorithmes de codage,
- Calcul scientifique, Calcul Mathématique Assisté par Ordinateur.

La S.C.M. annonce :

Le logiciel de Calcul Mathématique Assisté par Ordinateur : *Simplex-AMP*, conçu par Jean-Michel Drouffe, est maintenant disponible dans sa version de base.

Fonctionnant sur PC équipé de Windows, cet *Assistant Mathématique*

est très simple d'emploi et est doté d'une interface très conviviale. Il réalise les opérations usuelles : définition d'une fonction, dérivations, opérations sur les polynômes, les matrices, trigonométrie, etc., et est doté d'un puissant langage de programmation.

Il peut être utilisé, dans l'enseignement, par les élèves à partir de la seconde et leurs professeurs, et dans l'industrie, par les techniciens et les ingénieurs. C'est à ce jour le seul logiciel satisfaisant aux normes conçues par la S.C.M. dans le cadre des études menées pour *Digital Equipment Corp.* Le logiciel, sous sa version de base, est disponible à un prix très bas : 300 F T.T.C.

L'*Institut de Calcul Mathématique*, en charge des opérations de recherche fondamentale liées aux activités de la S.C.M., est désireux de nouer des liens

- avec des équipes (industrielles ou universitaires), dans le but d'élaborer des programmes de recherche en commun,
- avec des chercheurs et des étudiants (niveau maîtrise et au-delà), désireux de participer aux programmes en cours ou à venir.

L'I.C.M. publie tous les trois mois la "Lettre de l'I.C.M.", forum d'in-

formation et de débats sur les orientations des mathématiques et leurs débouchés, destiné aux étudiants (niveau maîtrise et au-delà) et aux chercheurs. Au sommaire du numéro 2, daté avril 96 :

- Un dossier sur l'emploi en mathématiques, par Bernard Beauzamy,
- Thésard CIFRE, par Thierry Beley,
- L'emploi des jeunes en sciences : un point de vue «exotique», par Régis Caboz,
- L'enseignement de l'informatique, par Maurice Nivat.

Abonnement 100 F pour 4 numéros.

Institut de Calcul Mathématique



I.C.M. et S.C.M. :
37, rue Tournefort, 75005 Paris

Tél : 47 07 52 92
Fax : 48 07 83 97

La reconnaissance aérienne

DINO BRUGIONI

Dans les années 1950 et 1960, en pleine guerre froide, les services d'espionnage des deux camps surveillaient la planète en la photographiant par avion ou par satellite. La difficile interprétation des images obtenues a profondément influencé les relations internationales.

Chaque matin, depuis 35 ans, un agent de la CIA se rend à la Maison-Blanche avec un dossier qui contient une dizaine d'images et leur interprétation. Ces photographies aériennes et spatiales, choisies parmi le millier qui a été pris la veille, révèlent les points névralgiques du Globe. Certains hauts fonctionnaires reçoivent des documents similaires.

C'est le président Dwight Eisenhower qui, le premier, a utilisé les photographies de reconnaissance pour la surveillance des troupes stationnées à l'étranger, le suivi de l'application des accords de désarmement, l'évaluation des forces militaires hostiles et l'élaboration de programmes d'armement adaptés. À cette époque, la reconnaissance spatiale a fourni des renseignements opportuns, qui ont parfois permis aux superpuissances de ne pas déclencher une offensive inutile : les images, qui dévoilaient des arsenaux moins imposants et des intentions moins belliqueuses que prévu, ont souvent évité la guerre.

Tous ceux qui, comme moi, ont quotidiennement analysé ces photographies ont observé une évolution fascinante. Le gouvernement américain s'apprête à rendre publiques plus de 800 000 photographies satellites collectées par la CIA au cours des 12 premières années de la reconnaissance aérienne, entre 1960 et 1972.

Cette période restera importante dans l'histoire : l'Union des républiques socialistes soviétiques (URSS) construisait ses premiers sites de lancement de missiles balistiques intercontinentaux, la guerre du Viêt Nam faisait rage, le nombre de pays disposant de l'arme nucléaire est passé de quatre à au moins six, les États-Unis et l'URSS ont engagé

les négociations sur la limitation des armes stratégiques. Israël a construit ses premières usines de retraitement du plutonium, les Soviétiques ont installé des missiles à Cuba, la Chine a fait exploser sa première bombe atomique et la course à l'espace se déroulait en même temps que la guerre des Six-Jours, au Moyen-Orient. Tous ces événements étaient observés, à partir de l'espace, par les services de renseignements américains. Les photographies prises ont révolutionné la connaissance de pays comme l'URSS et la Chine, mais aussi du reste du monde.

Arthur Lundahl, le premier directeur du Centre américain d'interprétation photographique, a estimé que les agents de renseignements n'exploitaient que 15 pour cent des informations contenues dans les clichés enregistrés. La publication des images donnera une vision nouvelle (au sens propre et au sens figuré) de l'histoire politique du milieu du XX^e siècle, ainsi que de divers sujets allant de l'archéologie à la zoologie.

Toutes les images publiées ont été produites dans le cadre du programme Corona de la CIA. L'armée de l'air a mené un programme plus modeste, nommé Samos, entre 1958 et 1963. Les satellites utilisés pour ces deux programmes furent les plates-formes les plus novatrices parmi celles qui ont été

utilisées par les États-Unis ; elles étaient épaulées par des ballons photographiques aériens (dans le cadre du programme Genetrix) et par les avions de reconnaissance à haute altitude U-2 et SR-71.

Eisenhower était tenu au courant des résultats de chaque mission. Il considérait cette technique comme un moyen d'éviter les désastres tels que celui de Pearl Harbor, encore dans toutes les mémoires, et il jugeait très important de bien connaître les capacités stratégiques de l'URSS et de la Chine. Vers la fin de son mandat, il utilisa également la reconnaissance spatiale pour lutter contre le groupe de pression militaro-industriel américain, qui exagérait les capacités soviétiques afin de servir ses ambitions.

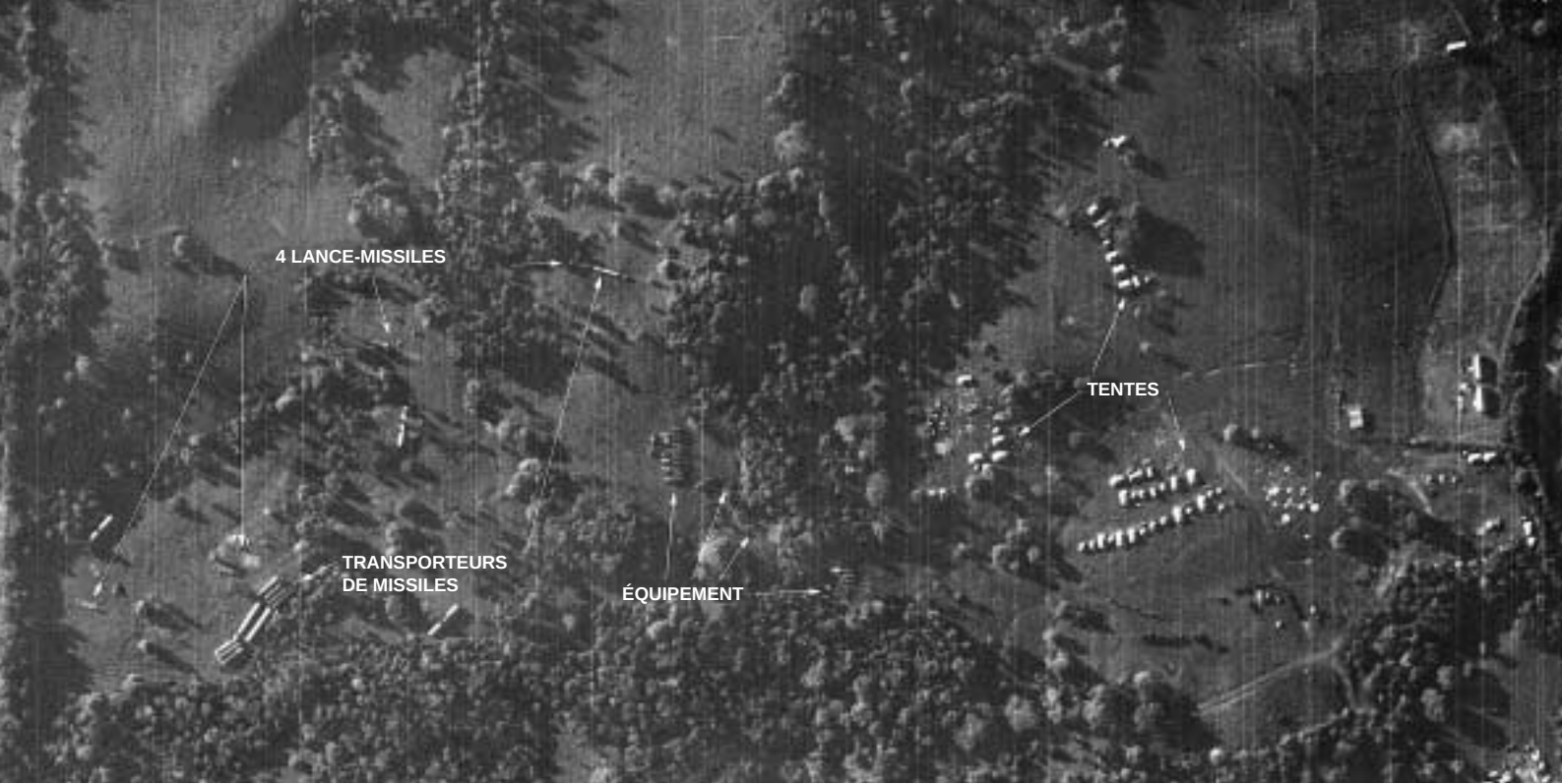
Au fil des ans, les sommes considérables que les États-Unis ont consacrées à la reconnaissance spatiale ont été largement rentabilisées par les précieuses informations recueillies : les photographies spatiales révélaient non seulement les véritables forces de l'ennemi, mais permettaient aussi d'élaborer des programmes de contre-armement plus efficaces.

Le projet Corona commença officiellement au mois de janvier 1958, mais c'est seulement le 18 août 1960 que le premier satellite fut lancé avec succès, après 12 échecs. Ensuite, 93 autres satel-

LE 10 NOVEMBRE 1962, À LA COLOMA, CUBA

Vus du ciel, les sites de missiles sol-air soviétiques SA-2 forment des étoiles à six branches. Déployées pour la première fois à la fin des années 1950 et encore utilisées aujourd'hui, les batteries de SA-2 étaient conçues pour abattre les avions d'attaque ou de reconnaissance ; la détection de ces signatures, sur des images de Cuba prises juste avant la crise des missiles, a indiqué aux experts américains la présence de sites protégés. Ces derniers étaient en fait des sites de missiles de portée moyenne et intermédiaire.

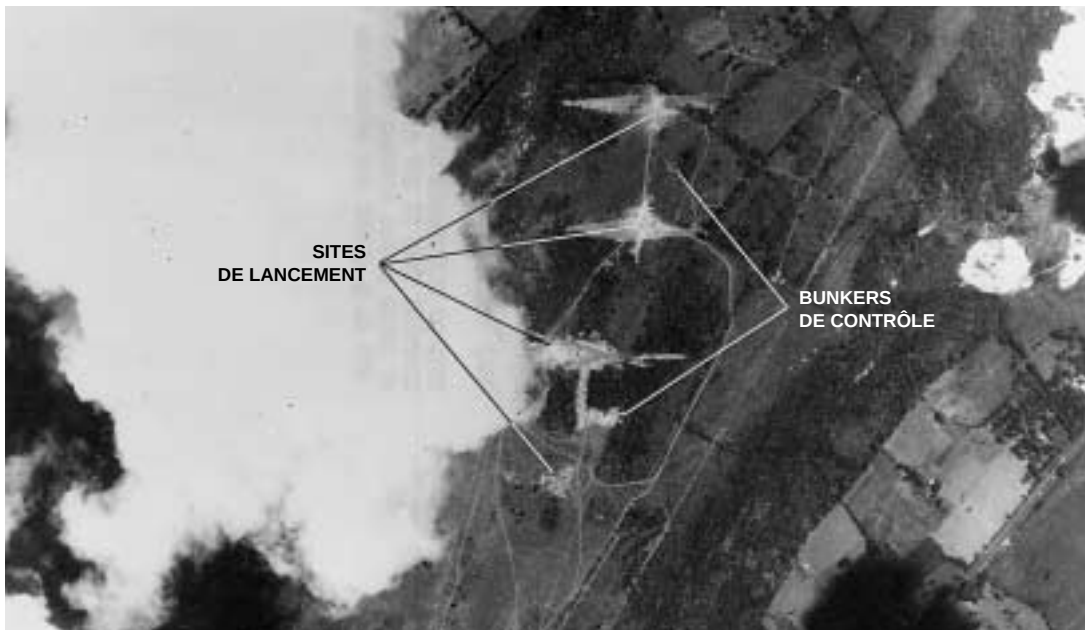




LE 14 OCTOBRE 1962, À SAN CRISTÓBAL, CUBA

Le 16 octobre 1962 au matin, l'agent de renseignements Arthur Lundahl présenta cette photographie au président John Kennedy et à ses conseillers. Lundahl était le meilleur analyste de l'époque ; il expliqua pourquoi cette image prise deux jours auparavant suggérait que des missiles balistiques soviétiques de moyenne portée avaient été déployés sur l'île de Cuba. D'une portée de 1 800 kilomètres, ces missiles pouvaient atteindre la ville de Washington et de nombreux autres sites américains plus au Sud. Prise par un avion espion U-2 d'une altitude de 21 300 mètres, la photographie montre un groupe de sept missiles, quelques lance-missiles et des «tentes de prépara-

tion» qui servaient à apprêter le missile et l'ogive pour le lancement. Kennedy ordonna d'effectuer des vols d'avions U-2 pour couvrir la totalité de l'île. Ces vols révélèrent que, outre les missiles de moyenne portée, des aires de tir de missiles intermédiaires, d'une portée double, étaient en cours de construction. Ces missiles balistiques de portée intermédiaire pouvaient atteindre des cibles situées n'importe où sur le continent américain, à l'exception du Nord de la côte Pacifique. Au cours des discussions avec les Soviétiques, Kennedy savait, grâce à la reconnaissance aérienne, que les États-Unis possédaient au moins sept fois plus d'armes stratégiques que les Soviétiques (des bombardiers à long rayon d'action, des missiles balistiques intercontinentaux et des sous-marins lanceurs d'engins).



LE 15 OCTOBRE 1962, À GUANAJAY, CUBA

Pendant la crise des missiles cubains, les analystes comptaient beaucoup sur l'aspect spécifique, ou «signature», des sites de lancement des missiles en URSS. Les détails caractéristiques indiquant le début de la construction d'un site de missiles balistiques de portée

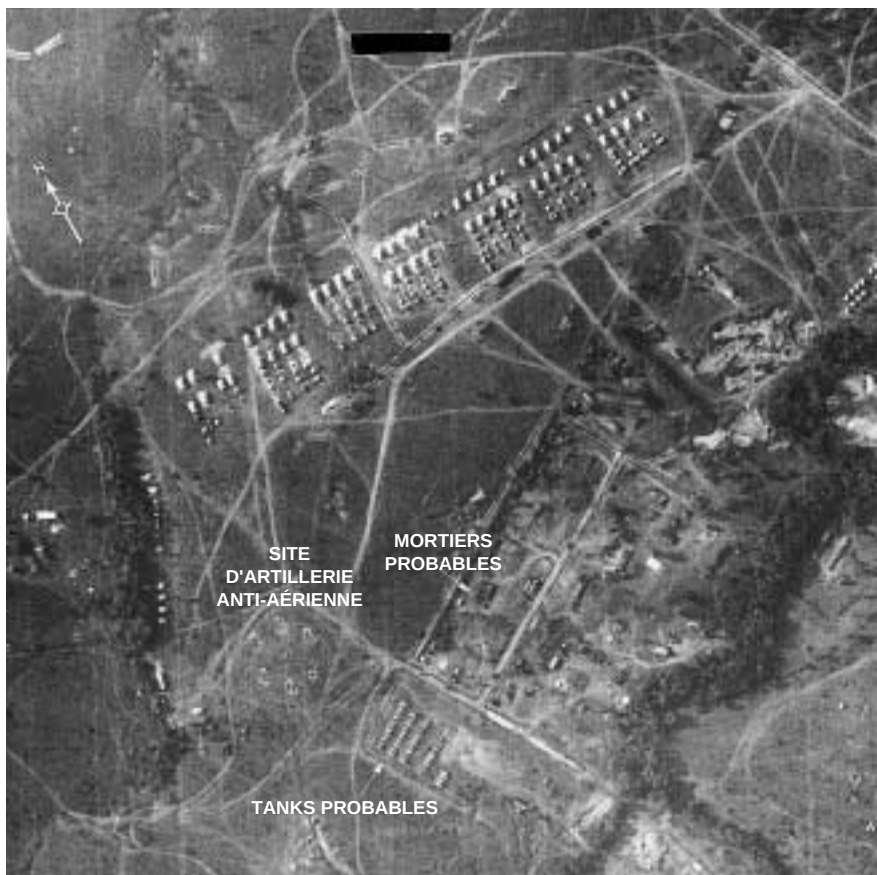
intermédiaire SS-5 y avaient été observés à maintes reprises. Dès leur identification à Cuba, Kennedy a été informé de l'installation prochaine de missiles de plus longue portée, en complément des missiles balistiques de moyenne portée. La riposte instantanée (par le blocus de l'île) a empêché les navires soviétiques de livrer les missiles SS-5 à Cuba.

LE 20 NOVEMBRE 1962, AU CAMP MILITAIRE DE HOLGUÍN, CUBA

Les analystes ont mis au point quelques disciplines originales, telles que la «tentologie» : ils ont appris à déterminer les forces militaires à partir du nombre de tentes détectées. Les images de tentes installées sur quatre sites soviétiques, à Cuba, pendant la crise des missiles, ont révélé que chaque site hébergeait environ 1 500 hommes de troupe. L'alignement des tentes et la disposition méthodique des équipements militaires les plus récents permirent aux analystes de conclure à la présence de troupes soviétiques d'élite plutôt que de forces cubaines.

LE 18 AOÛT 1962, DANS L'OcéAN ATLANTIQUE, AU LARGE DE CUBA

La «caissologie» est l'étude minutieuse de la forme, des saillies et des crochets de transport des caisses servant à l'expédition des équipements militaires. Ces caisses protègent les équipements contre les intempéries, les embruns et les regards indiscrets. Elles peuvent néanmoins être photographiées, au moment du chargement ou du déchargement, par des avions ou par des satellites (voire par des espions présents dans le port). Une analyse minutieuse et la photogrammétrie, associée à la provenance des caisses, permettent souvent d'en identifier le contenu. En 1962, les analystes ont identifié des caisses contenant des patrouilleurs lance-missiles (photographiés ici par un avion volant à basse altitude de l'armée américaine). Des chasseurs Mig-21, des bombardiers Beagle Il-28 et des avions cargos Crate Il-14 transportés par bateau à Cuba ont également été identifiés.



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 enserme 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

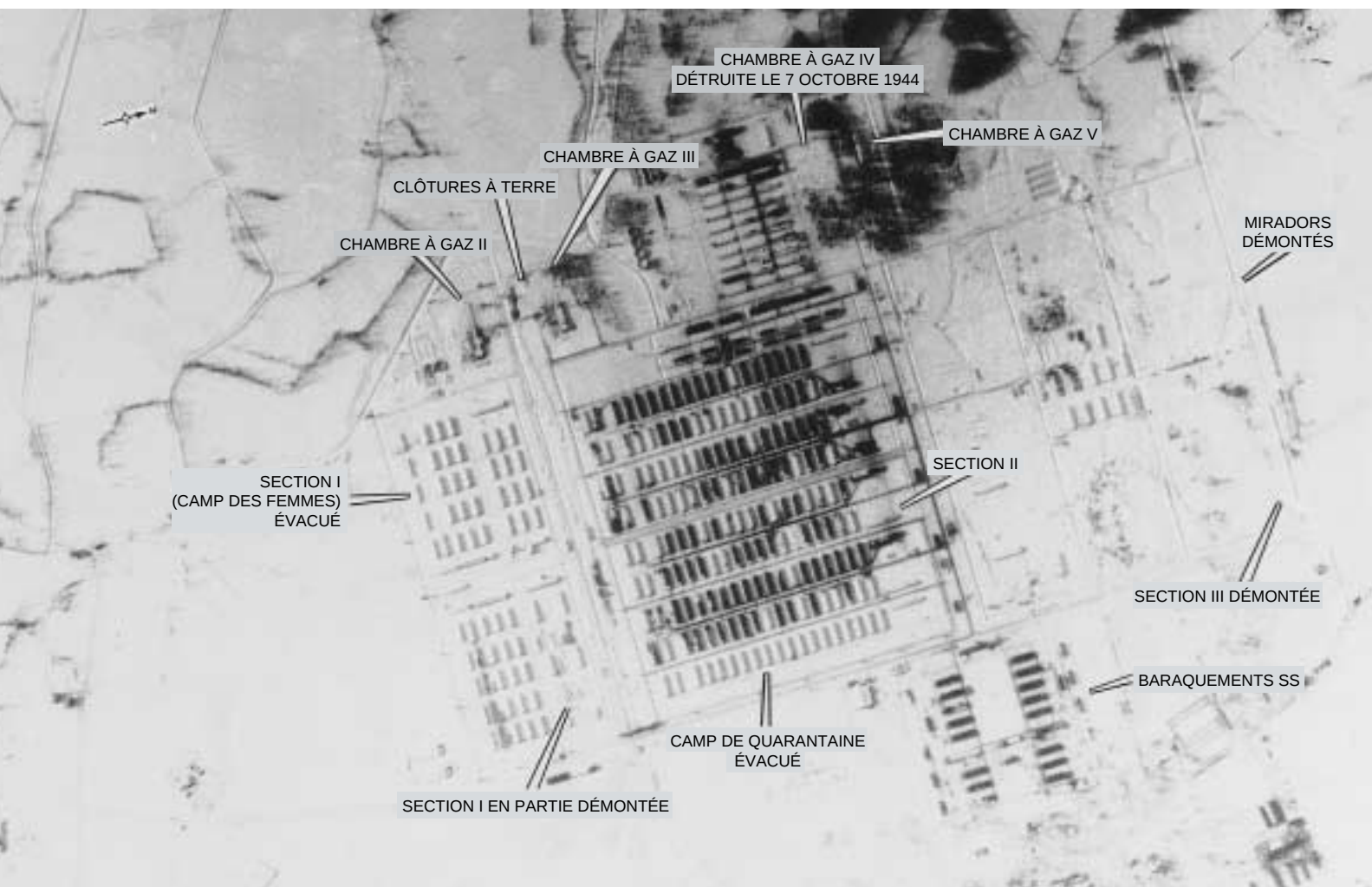
et le déploiement de forces militaires le long de la frontière sino-soviétique dans les années 1970. Le programme Corona a également fourni une large couverture de régions du monde reculées et rarement observées, comme la Nouvelle-Zemble, où les Soviétiques procédaient à des essais d'armes nucléaires,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





EMPLACEMENT DE L'EXPLOSION

LE 20 OCTOBRE 1964, À LOB NOR, EN CHINE

Lorsque les différentes nations se sont mises à construire des armes de destruction massive, les déserts et les régions reculées sont devenus des sites d'essais. Les analystes ont toujours scruté avec attention les photographies de telles régions. En décembre 1961, des photographies de la région de Lob Nor, dans le désert du Taklimakan, dans l'Ouest de la Chine, ont révélé l'existence d'une route circulaire de quatre kilomètres de diamètre. La situation et les dimensions de la route suggéraient une appartenance à un futur site d'essais nucléaires : la zone délimitée par la route était suffisamment vaste pour être le siège d'un essai nucléaire de surface laissant la route intacte. Par la suite furent construits un terrain d'aviation, une caserne et des installations logistiques, puis vint s'ajouter une tour de 100 mètres de

hauteur. Lorsque les lignes de communication et d'instrumentation enterrées furent reliées à des camions et à des bunkers équipés d'électronique, l'essai nucléaire était imminent.

Afin de prendre la vedette au gouvernement chinois, le président Lyndon Johnson demanda au ministre des Affaires étrangères d'annoncer publiquement qu'il savait que «la Chine communiste était sur le point de faire exploser son premier dispositif nucléaire». L'analyse de la photographie du 8 octobre montra que tout était prêt pour l'essai et que le personnel et les équipements avaient été évacués de la zone de tir. La surprise fut faible lorsque les Chinois firent exploser une bombe atomique de 28 kilotonnes, le 16 octobre 1964. Les images prises quatre jours plus tard par des satellites KH-4 montrent les effets d'un essai atmosphérique à l'endroit où s'élevait précédemment la tour.

observé les conséquences de catastrophes industrielles ou naturelles et la pollution de l'atmosphère, des ruisseaux et des rivières. Hiver après hiver, nous avons assisté au noircissement de la neige par la pollution dans un rayon de 150 kilomètres autour de Magnitogorsk, un centre russe de production d'acier. Nos observations donneraient matière à réflexion à quiconque nourrit l'illusion que notre Terre peut absorber sans dommages tous les ravages que lui fait subir l'homme.

La publication des centaines de milliers d'images Corona offre une occasion rare de mieux comprendre notre merveilleuse planète bleue, perpétuellement changeante, et ses habitants. J'ai par exemple suivi l'extension permanente du Sahara vers le Nord, grâce à des images prises périodiquement

durant la fin des années 1960. Les mêmes images montrent les sites des anciens camps romains et m'ont permis de comparer leurs positions avec ceux de la Légion étrangère française.

Nous n'avons fait que jeter un coup d'œil furtif sur la plupart de ces images. La navigation sur cet océan de données encore inexploré sera certainement captivante.

Dino BRUGIONI est l'un des fondateurs du Centre américain d'interprétation photographique.

Dino A. BRUGIONI et Robert G. POIRIER, *The Holocaust Revisited : A Retrospective Analysis of the Auschwitz-Birkenau Extermination Complex*, Central Intelligence Agency (ST-79-10001), 1979.

William E. BURROWS, *Deep Black : Space Espionage and National Security*, Random House, 1986.

Chris POCOCK, *Dragon Lady : The History of the U-2 Spyplane*, Airlife Publishing / Motorbooks International, 1989.

Jay MILLER, *Lockheed's Skunk Works : The First Fifty Years*, Midland Publishing, Leicester, 1993.

Corona : *America's First Satellite Program*, sous la direction de Kevin C. Ruffner, Central Intelligence Agency History Staff and the Center for the Study of Intelligence, 1995.

Robert A. McDONALD, *Corona : Success for Space Reconnaissance, a Look into the Cold War and a Revolution for Intelligence*, in *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 61, n° 6, pp. 689-720, juin 1995.

Les électrons dans un monde à deux dimensions

STEVEN KIVELSON • DUNG-HAI LEE • SHOU-CHENG ZHANG

Confinés dans un plan, les électrons peuvent manifester l'effet Hall quantique, un phénomène surprenant dont on comprend le lien avec la supraconduction.

Depuis l'antiquité grecque, toutes les disciplines scientifiques ont pour objet principal de trouver un ensemble minimal de principes fondamentaux qui expliquent des phénomènes naturels variés. Cette philosophie réductionniste a bien réussi dans certains domaines, telle la physique des particules : les théoriciens de cette discipline ont regroupé toutes les particules en quelques familles et ils ont exprimé les lois fondamentales de la physique en fonction des interactions entre particules.

Les physiciens de la matière condensée ont eu moins de succès : les recherches faites au cours de ce siècle sur le comportement des électrons dans les solides ont révélé des états différents de

la matière, caractérisés par une myriade d'organisations des électrons. Habituellement, les solides sont soit des isolants, qui résistent fortement au passage du courant électrique, soit des métaux, qui conduisent bien le courant, avec une faible résistance. Dans certaines circonstances, des solides peuvent passer dans un état supraconducteur, où le courant électrique circule sans aucune perte. Les différentes interprétations théoriques de ces états ont été aussi variées que les états eux-mêmes.

Une unification pourrait toutefois apparaître, car les physiciens ont découvert un lien entre la supraconduction et un autre phénomène, très étudié en physique de la matière condensée : l'effet Hall quantique. Cet effet se pro-

duit lorsque les électrons sont soumis simultanément à trois conditions : ils sont piégés dans une couche mince, entre deux cristaux semi-conducteurs, de sorte qu'ils ne se déplacent que dans un plan ; ils sont refroidis à des températures proches du zéro absolu ; et ils sont dans un champ magnétique intense, perpendiculaire au plan de propagation. Le champ magnétique exerce sur les électrons une force qui les pousse perpendiculairement à leur direction de propagation, ce qui crée une différence de potentiel, nommée tension de Hall. Quand on intensifie le champ magnétique, cette tension croît par paliers. Ce phénomène, nommé effet Hall quantique, est la signature d'un nouvel état de la matière.

