



Musée du bateau viking, Roskilde

7. LA QUILLE PEU PROFONDE des langskips permettait un portage rapide. Ici, on teste la traction du *Helge Ask* sur des rondins de bois (ci-dessous, à droite, la proue du navire, ornée d'une tête de dragon). Au XI^e siècle, la facilité du portage a permis au roi norvégien Magnus Barelegs de mettre à profit une lacune de la loi.

Un traité signé avec le roi d'Écosse attribuait au roi Magnus toutes les terres dont il pouvait faire le tour en bateau. Le Norvégien navigua jusqu'à la péninsule écossaise de Kintyre et, assis au gouvernail, se fit traîner par ses hommes à travers le mince bras de terre pour réclamer la péninsule.

expérimentalement les extraordinaires qualités de navigabilité et de souplesse des bateaux de commerce et des voiliers vikings. Les langskips, eux, restaient des pièces de musée.

En 1963, des scouts danois construisirent une réplique du bateau de Ladby. Ayant observé que les bateaux de guerre illustrés sur la tapisserie de Bayeux, qui date du XI^e siècle, étaient utilisés pour le transport des chevaux, les jeunes marins voulaient vérifier si l'on pouvait embarquer des chevaux à partir d'une plage. Cette préoccupation d'embarquer les animaux aurait expliqué la conservation d'un franc-bord très bas pendant toute l'ère viking. Les essais en mer de la reconstitution furent un succès, les chevaux, les scouts et la coque se comportant tous très bien. Le bateau se révéla rapide et maniable, ce qui montra encore une fois la maîtrise et l'ingéniosité des constructeurs vikings.

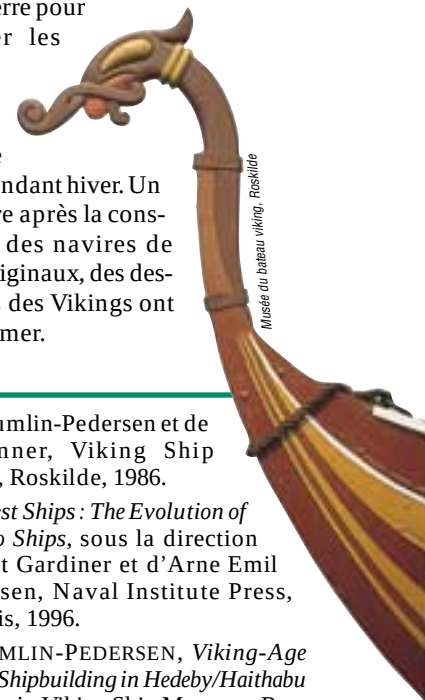
Après la fouille et le renflouement des bateaux de Skuldelev, en 1962, le Musée du bateau viking fut construit à Roskilde, pour exposer les vestiges et devenir un centre d'étude et de reconstitution. En 1991, l'équipe du musée construisit le *Helge Ask*, une réplique du plus petit (17 mètres) langskip de Skuldelev et démontra ainsi sa puissance remarquable : avec seulement la moitié de l'équipage de 24

hommes aux avirons, le bateau prit facilement de vitesse une réplique du bateau de commerce le plus court et le plus large retrouvé aussi à Skuldelev (le *Roar Ege*). Le langskip battit également à la course le navire marchand à voiles, avec une vitesse de croisière approchant les huit nœuds, soit 15 kilomètres par heure.

Ce navire remontait mieux au vent, mais l'équipage du *Helge Ask* le battit en baissant les voiles et en ramant. O. Crumlin-Pedersen a calculé que le langskip pouvait fondre sur sa proie quelles que soient les conditions, excepté par grand vent. Des sagas ont décrit ses capacités : un Viking nommé Gauti Tófa-son avait arraisonné quatre knorrers danois avec son langskip ; il en aurait pris un cinquième si une tempête ne

s'était levée, ce qui permit à sa proie de s'enfuir.

Au XX^e siècle, plus de 30 bateaux vikings ont été reconstruits. Beaucoup sont régulièrement utilisés. À Roskilde, la guilde du *Helge Ask* sort régulièrement le bateau en mer pour des essais et des croisières, le tire jusqu'à terre pour éprouver les récits de portage durant l'été, et le répare pendant hiver. Un millénaire après la construction des navires de guerre originaux, des descendants des Vikings ont repris la mer.



Musée du bateau viking, Roskilde

John HALE est archéologue à l'Université de Louisville, dans le Kentucky.

A.W. BRØGGER et Haakon SHETELIG, *The Viking Ships*, Twayne Publishers, New York, 1971, et C. Hurst, Londres, 1971.

John R. HALE, *Plank-Built in the Bronze Age*, in *Antiquity*, vol. 54, n° 211, pp. 118-126, 1980.

Sailing into the Past : Proceedings of the International Seminar on Replicas of Ancient and Medieval Vessels, sous la direction

d'Ole Crumlin-Pedersen et de Max Vinner, Viking Ship Museum, Roskilde, 1986.

The Earliest Ships : The Evolution of Boats into Ships, sous la direction de Robert Gardiner et d'Arne Emil Christensen, Naval Institute Press, Annapolis, 1996.

Ole CRUMLIN-PEDERSEN, *Viking-Age Ships and Shipbuilding in Hedeby/Haithabu and Schleswig*, Viking Ship Museum, Roskilde and Provincial Museum of Archaeology, Schleswig, 1997.

Des scientifiques dans l'ombre

JEFFREY RICHELSON

Quelques spécialistes des sciences de la Terre collaborent avec les services secrets américains. Ils accèdent à des informations importantes et, jusqu'à présent, confidentielles.

Durant les 50 années de la guerre froide, les États-Unis ont dépensé plusieurs milliers de milliards de francs pour concevoir, construire et utiliser un imposant réseau de renseignements qui donnait des images des zones stratégiques de la planète. Dans l'espace, des dizaines de satellites de reconnaissance envoyaient des millions d'images de la Terre ; les images en lumière visible étaient complétées par des images infrarouges qui montraient l'activité sur les sites de lancement de missiles et sur les aires de tests nucléaires. Dans le ciel, des avions de reconnaissance prenaient des photographies et des mesures météorologiques. Des réseaux immergés de sonars suivaient les mouvements des sous-marins, tandis qu'en surface des bateaux surveillaient le fond des océans.

Les millions d'images et les billions d'octets de données collectées par ce réseau mondial sont aujourd'hui archivés dans des centres de données, dans des centres informatiques, dans des photothèques et dans d'autres bâtiments proches de Washington. Certaines de ces informations ont encore une valeur militaire, mais l'éclatement du bloc de l'Est a réduit l'intérêt stratégique de toutes les autres.

Cette masse de données intéresse beaucoup les sciences de la Terre. Sous certaines conditions, leur exploitation scientifique ne compromettrait pas le secret qui a présidé à leur collecte et à leur utilisation. Aussi le gouvernement américain a-t-il créé un groupe

de quelques dizaines de scientifiques habilités, qui ont accès à une partie des données et des images compilées. Ce groupe, nommé Médée, est informé des avancées les plus récentes dans le domaine des détecteurs militaires ; il conseille les services de renseignements sur la façon de concevoir les nouveaux satellites et sur la manière d'exploiter les appareils existants, afin d'en tirer le meilleur parti, du double point de vue scientifique et militaire.

Cette collaboration est trop récente pour qu'on en fasse le bilan, mais sa pérennité – elle a démarré en 1992 – est déjà remarquable : jamais la communauté du renseignement n'avait collaboré si étroitement avec un groupe de scientifiques indépendants, afin que les données secrètes soient transmises à la communauté scientifique. Une telle coopération exige pourtant l'harmonisation de deux cultures opposées : en science, les progrès résultent de la publication rapide et générale des données, tandis que, dans le renseignement, règne la politique du « besoin d'en connaître », où chaque personne, habilitée à un certain niveau de secret, n'est autorisée à connaître que les informations strictement nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

Depuis la création du groupe Médée, ses membres ont principalement cherché quelles étaient les données pertinentes pour l'étude du réchauffement global, des températures océaniques, de l'évolution de la couverture végétale et forestière, de



Steve Johnson et Lou Fancher



l'état des calottes polaires et d'autres sujets ayant trait à l'environnement. Deux articles scientifiques ont été fondés sur les données du renseignement : ils montrent que des travaux scientifiques publics peuvent s'appuyer sur des données secrètes des archives gouvernementales. De surcroît, la collaboration a incité les services de renseignements à coopérer davantage avec des experts extérieurs ; des avantages inattendus en ont découlé. Ainsi, les images des satellites de reconnaissance militaire se sont déjà révélées inestimables pour les équipes chargées des secours, lors de l'éruption volcanique de l'île de Montserrat, dans les Caraïbes, et lors de graves feux de forêt, en Alaska.

Des yeux dans le ciel

Comme les données du renseignement sont très rarement publiées, l'évaluation de ces données pour les sciences de l'environnement reste difficile. Néanmoins, au fil des ans, un certain nombre de détails ont été officiellement dévoilés, ou ont filtré, concernant les caractéristiques des satellites espions et des capteurs secrets, ainsi que leurs périodes de fonctionnement.

Au cours des 37 dernières années, plusieurs centaines de satellites de reconnaissance aérienne ont été lancés. Les plus récents de ces satellites sont de type *Keyhole-11* (*KH-11*) et *Advanced KH-11* (*AKH-11*), qui retransmettent presque instantanément leurs images via un satellite-relais (*Keyhole* signifie «trou de serrure»). Neuf satellites *KH-11* ont été mis sur orbite entre 1976 et 1988, et trois *AKH-11* ont été lancés dans les années 1990. Ces derniers, qui coûtent chacun près de dix milliards de francs, envoient des images dont la résolution au sol (la taille des plus petits détails que l'on peut distinguer) est meilleure que 15 centimètres.

Le gouvernement américain n'a pas encore publié les données des satellites de haute résolution qui ont fonctionné de 1963 à 1984 (les satellites *KH-7* et *KH-8*), du satellite de reconnaissance *KH-9* à imagerie grand angle, ou des satellites *KH-11* et *AKH-11*. Néanmoins, beaucoup d'informations ont déjà filtré dans la presse professionnelle : quelques images prises par ces satellites ont été publiées, tandis que le public découvrait des données confidentielles sur le *KH-11* lors des procès

d'anciens agents inculpés pour avoir divulgué des secrets.

Les satellites des générations *KH-1* à *KH-9* (le programme *KH-10* fut abandonné avant même qu'un seul satellite ne vole) larguaient sur le territoire américain des conteneurs remplis de films photographiques des régions névralgiques du Globe comme l'Union soviétique, la Chine, Cuba ou le Moyen-Orient. Entre 1960 et 1972, 144 satellites *KH-1* à *KH-9* ont été lancés (il y eut quelques échecs). Ils ont produit plus de 800 000 images qui ont été publiées récemment (voir *La reconnaissance aérienne*, par Dino Brugioni, *Pour La Science*, mai 1996), en partie grâce aux scientifiques de Médée. Les appareils photographiques des satellites *KH-1* avaient une résolution de 12 mètres, qui fut ramenée à environ 1,5 mètre pour les *KH-4*.

Les satellites *KH-7*, *KH-8* et *KH-9*, avec leurs caméras plus précises, ont fourni plusieurs millions d'images entre les années 1970 et le début des années 1980. Chaque image prise par l'unique *KH-9* couvrait des dizaines de milliers de kilomètres carrés, avec une résolution d'environ 30 centimètres. Les programmes *KH-8* et *KH-9* se sont achevés en 1984.

Dotés de capteurs infrarouges, les satellites *DSP* (l'acronyme de *Defense Support Program*, soit «Programme de soutien à la défense») de l'armée de l'air américaine constituent un autre groupe de satellites militaires dont on a reconnu l'utilité scientifique ; le premier de ces satellites a été lancé en 1970, et le 18^e en février 1997. Les satellites *DSP* sont géostationnaires, à 35 900 kilomètres d'altitude. Leurs principaux détecteurs sont des capteurs infrarouges, conçus pour repérer la chaleur émanant de tirs de missiles nucléaires soviétiques et chinois. Ces satellites embarquent aussi des capteurs qui détectent les signatures d'explosions nucléaires atmosphériques. Au fil des ans, les détecteurs infrarouges des satellites *DSP* ont aussi enregistré les lancements de missiles de moyenne portée (dont les *SCUD*), la signature de la post-combustion des avions, les satellites en orbite basse et même des événements terrestres tels que des grandes explosions.

le programme *Lacrosse* a également enrichi les banques d'images. Les satellites de ce programme ne photogra-

phient pas des objets, mais émettent des ondes radio dont ils détectent les réflexions sur les objets du sol. Ces ondes réfléchies sont ensuite converties en images. Les instruments embarqués, nommés radars à ouverture synthétique, permettent de s'affranchir de l'obscurité et des nuages.

Excepté les satellites *DSP*, qui appartiennent à l'armée de l'air américaine, tous les satellites décrits ici sont commandés par l'Office américain de reconnaissance, un organisme créé le 6 septembre 1961 afin de coordonner les efforts de reconnaissance spatiale de la CIA et de l'armée de l'air américaine. Cet organisme était autrefois si secret que son nom ou son acronyme (NRO, pour *National Reconnaissance Office*) apparaissaient uniquement sur les documents d'un

niveau de confidentialité supérieur au «Top Secret». Le ministère américain de la Défense n'a admis publiquement l'existence du NRO qu'en 1992.

Des avions ont également donné de nombreuses images. Le plus connu des avions américains de reconnaissance est l'*U-2*, dont le rôle d'espion fut révélé lorsque le pilote de la CIA fut abattu au-dessus de l'Union soviétique en mai 1960. L'incident marqua la fin du survol de l'Union soviétique, mais, depuis plus de 40 ans, les *U-2* survolent et photographient des zones sensibles dans le monde entier. Aujourd'hui, ils montrent si l'Irak se conforme aux termes du cessez-le-feu de la guerre du Golfe. Un autre avion de reconnaissance de l'armée de l'air, le *SR-71*, a été en opération de la fin des années 1960

jusqu'à sa retraite temporaire en 1990. Quelques-uns demeurent en activité. Volant à plus de 26 000 mètres, à des vitesses supérieures à Mach 3 (trois fois la vitesse du son, soit près de 3 000 kilomètres par heure à cette altitude), les *SR-71* peuvent photographier plus de 260 000 kilomètres carrés en une heure de vol. Les missions des *SR-71* ont ainsi fourni des photographies couvrant des millions de kilomètres carrés.

Des oreilles sous la mer

Durant la guerre froide, alors que la CIA, le NRO et l'armée de l'air photographiaient les territoires ennemis et alliés, la Marine mettait en œuvre un réseau mondial de sonars pour localiser et suivre le mouvement des sous-

Quelques systèmes de renseignement et leur utilisation scientifique

	NOM	PÉRIODE D'UTILISATION	CAPTEURS/ CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS MILITAIRES	APPLICATIONS SCIENTIFIQUES
SATELLITES	KH-1 - KH-6 KH-7 et KH-8	1960-1972 1963-1984	Images enregistrées sur film	Reconnaissance	Étude de l'expansion, du retrait ou de l'état des terres arables et des forêts, des déserts et d'autres écosystèmes ; surveillance de l'érosion du littoral, des incendies de forêt et de l'activité volcanique
	KH-9	1971-1984	Optiques grand angle couvrant des milliers de kilomètres		
	KH-11 KH-11 avancé	1976-1995 1992 à aujourd'hui	Images retransmises en temps réel à la Terre		
	DSP	1970 à aujourd'hui	Infrarouge	Détecte les lancements de missiles, les explosions, les incendies	Surveillance des entrées de météorites dans l'atmosphère terrestre
	Lacrosse	1988 à aujourd'hui	Images radar par tous les temps et à tout instant	Reconnaissance	Surveillance de la couverture glacée et neigeuse ; localisation et prévision du niveau des lacs, cours d'eau et nappes d'eau
AVIONS	U-2	1956 à aujourd'hui	Prend des images électro-optiques en temps réel	Reconnaissance	Étude de l'expansion, du retrait ou de l'état des terres arables et des forêts, des déserts et d'autres écosystèmes ; surveillance de l'érosion et des catastrophes naturelles
	SR-71	1964-1990	Photographiait plus de 260 000 kilomètres carrés par heure		
NAVIRES	Navires océanographiques militaires (dernière génération : la série TAGS-60)	1950 à aujourd'hui	Système multifaisceaux de relevé bathymétrique ; système sonar à faisceau large en eaux profondes ; établissement de profils sous le fond océanique	Données sur les champs magnétiques et gravimétriques marins ; bathymétrie du fond océanique et propriétés des sédiments ; profils verticaux de salinité et de température	Données de base pour de futures études marines ; calibration des algorithmes des satellites ; échantillonnage plus efficace de la salinité et des températures
RÉSEAUX DE SONARS	SOSUS	Mi-1950 à aujourd'hui	Hydrophones	Identification et suivi des sous-marins hostiles	Surveillance des températures océaniques ; suivi des populations de cétacés et de leurs déplacements

Bryan Christie

marins soviétiques. L'information était vitale : les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins s'efforcent d'échapper aux sous-marins d'assaut, qui tenteraient immédiatement de les détruire en cas de conflit nucléaire.

Les sonars étaient groupés en ensembles nommés Réseaux fixes de surveillance acoustique (*Sound Surveillance System*, ou SOSUS). Durant la majeure partie de la guerre froide, une vingtaine de ces SOSUS furent déployés en divers endroits du fond océanique pour détecter les signaux acoustiques issus des sous-marins soviétiques. Ils surveillaient également les mouvements des navires et, même, ceux des avions volant à basse altitude.

Les travaux de mise au point des SOSUS commencèrent en 1950 ; quatre ans plus tard, le premier réseau fut installé sur la plate-forme continentale de la côte Est des États-Unis. Les réseaux ont été régulièrement perfectionnés, et la technique en est aujourd'hui à sa cinquième ou sixième évolution.

Chaque sous-marin est identifié à partir de son écho sonar et des bruits caractéristiques de son moteur, de son système de refroidissement et du mouvement de ses hélices. À partir de ces informations, des programmes informatiques déterminent une signature sonore qui permet aux experts de reconnaître non seulement le type du sous-marin (sous-marin d'attaque de la classe *Alfa*, par exemple, ou sous-marin nucléaire lanceur d'engins, de la classe *Typhoon*), mais aussi, grâce à la sensibilité du réseau, chaque sous-marin individuel.

Derrière la porte secrète

Cet ensemble de détecteurs sous-marins, aériens et spatiaux remplit correctement sa fonction stratégique, mais ses données seraient-elles utilisables par les sciences de la Terre ? Cette question fut officiellement posée en mai 1990, lorsque Al Gore se posa des questions d'environnement qui intéressaient le Tennessee, dont il était sénateur. Il écrivit à un responsable de la CIA pour savoir si l'Agence possédait des données sur les océans, les nuages, les vents tropicaux et les précipitations. Comme la CIA avait effectivement des données utiles, elle organisa une réunion avec quelques scientifiques ne faisant pas partie de la communauté du renseignement, dont



Bryan Christie

1. LE SYSTÈME AMÉRICAIN DE SURVEILLANCE SONORE (ou SOSUS) est composé de réseaux d'hydrophones déployés sur le fond de l'océan. Au début des années 1980, 66 réseaux étaient en fonctionnement (emplacements en rouge) ; après la fin de la guerre froide, leur nombre a diminué.

Jeffrey Dozier, directeur du département des sciences de l'environnement à l'Université de Santa Barbara, et Gordon MacDonald, géophysicien à l'Université de San Diego.

Puis, au printemps 1992, le directeur de la CIA accorda leurs habilitations à un groupe de scientifiques, afin que ces derniers puissent évaluer l'intérêt scientifique des données de renseignement. Onze groupes d'études touchant diverses disciplines environnementales furent créés : ils comprenaient 70 scientifiques issus de l'Université, du secteur privé et d'agences gouvernementales telles que l'Agence pour la protection de l'environnement et le ministère américain de la Mer et de l'Atmosphère (NOAA). Lors de la première réunion officielle, en octobre 1992, les scientifiques examinèrent les besoins et les sources potentielles de données environnementales.

Ces scientifiques discutèrent aussi avec des collègues non habilités pour établir une liste des problèmes cruciaux et des informations qui seraient nécessaires pour les traiter. Par exemple, le groupe d'études sur les gaz à effet de serre conclut que la répartition de l'ozone était une information qui lui manquait. Pour mieux corréler la proportion de cette molécule avec les observations climatiques, le groupe conclut que l'on devait connaître la répartition de l'ozone en fonction de l'altitude, de la saison et de la latitude, avec une précision suffisante pour détecter une variation de cinq pour cent sur dix ans.

Une fois ce besoin identifié, les services secrets – en particulier la CIA et

le NRO –, ainsi que les ministères de la Défense et de l'Énergie, préparèrent des séances d'information sur plus de 100 systèmes de collecte secrets et leurs données. Puis, à la fin de novembre 1992 et au début de 1993, les scientifiques eurent connaissance des techniques utilisées par les renseignements américains : ils apprirent l'organisation des réseaux de surveillance jusqu'au détail des noms de code – une donnée très sensible pour ce qui concerne les satellites de renseignement –, de leur localisation et du type de données qu'ils recueillaient. Ces réunions devaient aider les scientifiques à déterminer les données archivées dont ils avaient besoin, et à savoir comment les satellites, les réseaux de sonars et autres systèmes actuellement en opération pourraient recueillir de nouvelles données.

En décembre 1993, le premier rapport du comité Médée concluait que les potentialités scientifiques des archives secrètes étaient immenses. Les images archivées, tout d'abord, pouvaient préciser les modifications des zones urbanisées, des zones cultivées, des zones forestières et des déserts, afin de dépister d'éventuels changements climatiques. Le premier satellite civil américain (*Earth Resources Technology Satellite*) n'ayant pas été lancé avant 1972, les images des archives secrètes permettraient d'avoir des données continues du début des années 1960 jusqu'à aujourd'hui.

À partir des images des satellites espions, les scientifiques voulaient calibrer les systèmes civils, de résolution moindre. En comparant des images basse et haute résolution d'un

même objet, ils prévoyaient d'extraire des informations supplémentaires de leurs photographies à faible résolution. Cet étalonnage est particulièrement utile pour les études de la végétation, la détermination des espèces et la mesure du degré de couverture végétale.

Les images de haute résolution montrent également l'expansion ou le retrait des forêts, des déserts et des

zones humides. Elles permettent d'étudier les modifications des surfaces arables, l'intégrité des écosystèmes et de l'habitat animal, les dommages subis par la forêt dus à la pollution et à l'activité humaine, l'utilisation de l'eau et l'érosion du littoral, des sujets aux conséquences considérables pour la santé humaine.

Le comité signalait aussi que les satellites DSP pouvaient détecter et sur-

veiller les grands incendies dans les régions reculées ; de tels feux produisent du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone, qui contribuent à l'effet de serre. À l'aide des données du réseau SOSUS, on pouvait évaluer le réchauffement global : comme les sons se propagent plus vite dans l'eau tiède que dans l'eau froide, la mesure des fluctuations de la vitesse du son à travers des milliers de kilomètres d'océan révèle de faibles variations de la température. Le réseau SOSUS détecte aussi le déplacement des cétacés, tout en caractérisant leurs populations. Toutes ces propositions ont été acceptées : le ministère américain de la Défense et les services des renseignements participent aujourd'hui aux études.

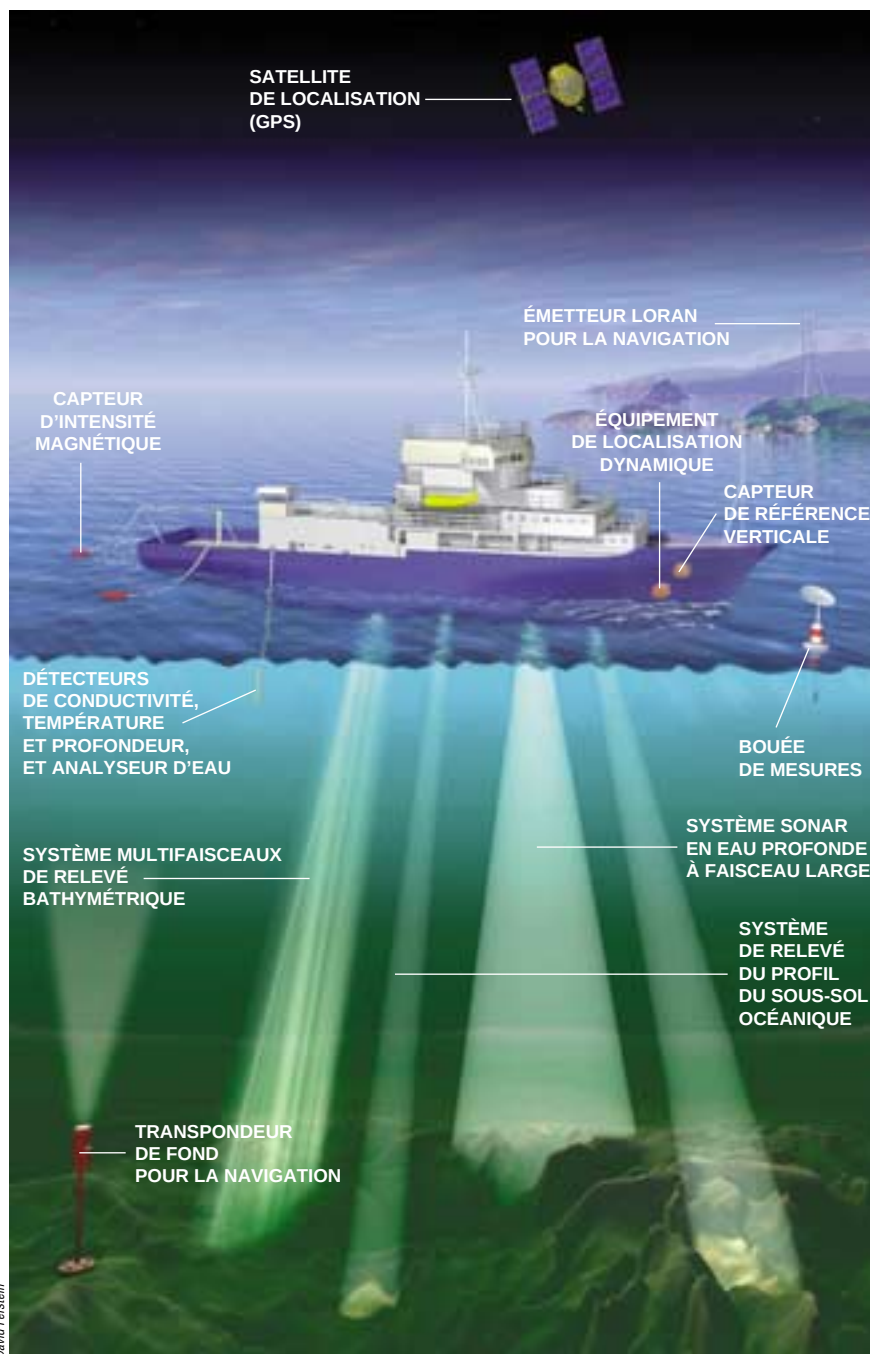
En outre, les matériels des services secrets servent à déterminer l'épaisseur de la banquise, l'étendue de la déforestation, la teneur en eau de la troposphère, la présence de déchets toxiques ou radioactifs sous le sol.

Médée devient permanent

Encouragés par le succès de la collaboration, les services des renseignements ont décidé de pérenniser le projet. En 1994, Linda Zall, de la CIA, a nommé le projet Médée, en référence à l'héroïne de la mythologie grecque qui aida Jason et les Argonautes à voler la Toison d'or. Aujourd'hui, près de 70 scientifiques ont accès à un bureau spécial, près du siège de la CIA.

Jusqu'à présent, les scientifiques du comité Médée ont produit plus d'une dizaine de rapports, évaluant comment les données archivées et l'ensemble des systèmes de collecte actuels pouvaient aider les sciences de la Terre. Ils se sont intéressés aux prévisions des éruptions volcaniques, aux méthodes d'identification des zones humides, aux vagues et à la circulation océanique, à l'évolution des glaciers. À une exception près, tous leurs rapports sont secrets.

Le seul rapport public, *Utilité scientifique des données environnementales de la Marine*, a été publié en juin 1995. Il avait été demandé par la Marine américaine, qui voulait connaître les possibilités en météorologie et en océanographie. Le rapport examinait l'utilité scientifique des bases de données pour l'étude de la banquise, de sa géologie et de sa géophysique, du



2. LE NAVIRE OCÉANOGRAPHIQUE MILITAIRE TAGS-60 est le dernier d'une série de bâtiments commencée voici 40 ans. Ce navire de la Marine américaine, associé à d'autres ressources telles que les satellites du Système mondial de localisation (GPS) et le système de radionavigation à longue portée (dit Loran), est équipé de divers capteurs qui mesurent des paramètres de l'océan utiles pour les militaires. Des sonars cartographient le fond sous-marin et sondent même la région située juste en dessous.

volume de l'océan et des propriétés des interfaces avec les autres milieux. Le rapport comprenait également des recommandations pour accroître les connaissances océanographiques. Par exemple, il proposait d'établir un centre d'exploitation permettant aux scientifiques habilités d'accéder à la plupart des bases de données du commandement et il suggérait que la Marine s'efforce surtout de construire des modèles régionaux de l'océan (ces modèles simulent numériquement les conditions de la mer).

Les scientifiques du comité Médée ont également étudié comment des modifications des satellites espions amélioreraient la collecte de données environnementales. Ils ont rendu au NRO une dizaine de rapports comprenant des recommandations techniques. Ces recommandations auront vraisemblablement un impact sur les futurs satellites de renseignement.

Le comité a aussi joué un rôle important dans la conception du Programme de zones-témoins de référence, qui surveillera 500 sites d'intérêt pour les sciences de l'environnement : les nuages au large de la côte californienne, entre Los Angeles et San Diego ; la forêt tropicale humide sur les basses terres de La Selva, au Costa Rica ; la forêt expérimentale de Luquillo, à Puerto Rico ; le sol gelé en profondeur de la Fish Creek, en Alaska ; les glaciers de Griegsletchner, en Suisse ; les pentes du Kilimandjaro, en Tanzanie...

Herman Shugart, membre du comité Médée et écologiste à l'Université de Virginie, pense que, d'ici quelques décennies, les images du Kilimandjaro montreront une augmentation de la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère : l'un des premiers indices naturels d'un tel accroissement sera l'épaississement de la végétation dans les zones végétales les plus hautes, telles celles des flancs du Kilimandjaro ; de cet épaississement résultera un verdissement identifiable sur les images.

Les images seront gardées dans une photothèque d'accès limité au Service géologique. Durant les 20 prochaines années, les données ne seront disponibles qu'aux personnes habilitées, mais leur mise à la disposition de l'ensemble de la communauté scientifique est prévue. Pourquoi priver si longtemps la science de données utiles ? La question est vivement débattue.



U.S. Department of Defense

3. CE VOLCAN, l'un des plus hauts du monde, se situe dans la péninsule du Kamchatka, à l'extrême Est de la Russie. L'analyse des images de reconnaissance, telle celle-ci, qui date de 1962, renseigne sur l'historique de l'activité volcanique de la péninsule, une région sismiquement et volcaniquement active.

Science et secret

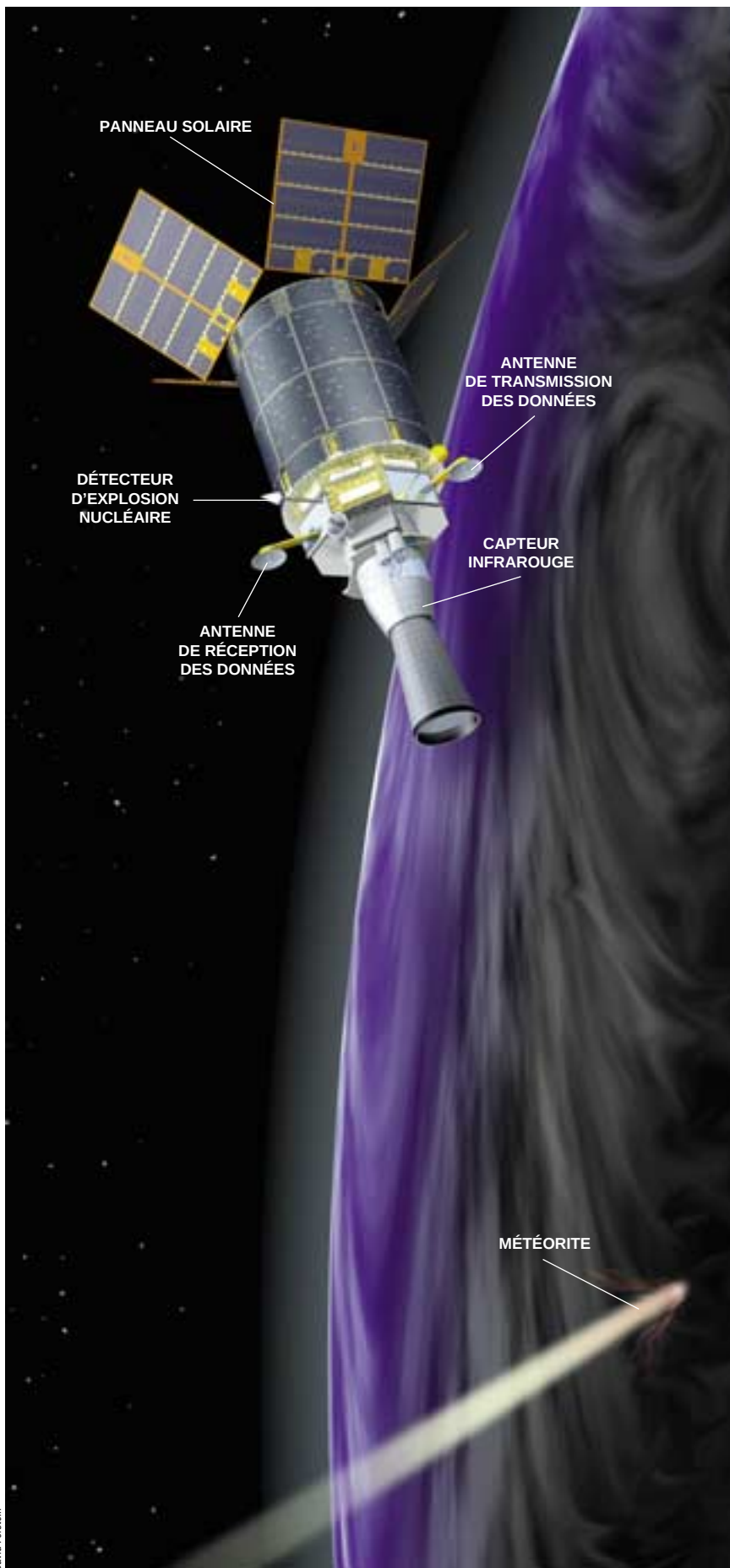
Bien que le comité Médée ait principalement étudié l'intérêt scientifique des données et des systèmes de renseignements, il a publié trois articles scientifiques sur la base de données confidentielles. Ces articles montrent la difficulté de conciliation des soucis de sécurité et des préoccupations scientifiques.

Les deux piliers essentiels de la science sont la reproductibilité – deux personnes qui font la même expérience doivent obtenir le même résultat – et la réfutabilité : des observations ou des expériences doivent confirmer les hypothèses. Les rapporteurs sollicités par les publications scientifiques se préoccupent souvent de savoir comment les données ont été recueillies et avec quelle fiabilité : quels instruments ont été utilisés ? Quelles étaient leurs performances ? Combien de mesures ont été faites et dans quelles conditions ?

Dans les études effectuées à partir de données confidentielles, la reproductibilité n'est pas assurée, car les scientifiques non habilités (c'est-à-dire la quasi-totalité de la communauté scientifique) n'ont pas accès aux informations. En outre, les rapporteurs ne sauront pas comment les données ont été recueillies. Dans certains cas, les résultats d'une recherche

seront vérifiables, même s'ils ne sont pas reproductibles, ce qui augmenterait la confiance dans les méthodes et données secrètes utilisées pour produire les résultats : par exemple, la précision d'une carte topographique du fond océanique peut être vérifiée, même si les moyens par lesquels elle a été produite ne sont pas connus. Toutefois, cette vérification n'est pas possible pour les phénomènes transitoires : certaines caractéristiques océaniques et atmosphériques auront peut-être disparu au moment où d'autres scientifiques essaieront de les observer.

Plusieurs de ces problèmes se sont posés à propos des deux premiers articles scientifiques du comité Médée. Le premier a été rédigé par William Schlesinger, de l'Université Duke, et par Nicholas Gramenopoulos, de la Société *Mitre*. Dans cet article, publié en 1996, les auteurs étudient l'extension vers le Sud du désert soudanais. Se fondant sur des photographies du Soudan occidental prises entre 1943 et 1994 par des satellites et par des avions, les auteurs analysent l'abondance des arbres en une douzaine de sites répartis le long d'un axe Nord-Sud. Ces photographies sont beaucoup plus précises que celles du Radiomètre avancé à très grande résolution embarqué sur le satellite NOAA depuis 1980. L'expansion du désert



David Forstein

modifierait le climat et accroîtrait la probabilité d'une famine... mais les observations des satellites espions ne décèlent pour l'instant aucune expansion du désert.

Comme beaucoup d'images sur lesquelles les auteurs se sont fondés pour formuler leurs conclusions proviennent d'archives secrètes, leur article n'a pas été accepté par la revue *Science*. W. Schlesinger indique que les rapporteurs de la revue lui ont posé des questions techniques auxquelles il ne pouvait répondre sans divulguer des informations confidentielles. *Science* n'a pas décidé de bloquer systématiquement la publication d'articles provenant des données militaires, mais sa rédactrice en chef, Monica Bradford, a précisé que les articles que les rapporteurs ne pouvaient évaluer ne seraient pas publiés.

Dans l'article finalement publié par la revue *Global Change Biology*, très peu d'informations sur les détecteurs sont données. Les auteurs écrivent seulement qu'ils ont utilisé des archives de photographies prises à distance à partir d'avions et de satellites militaires pour obtenir des mesures de la quantité de la végétation ligneuse dans la province de Darfur, au Soudan occidental.

Les éditeurs ont ajouté un avertissement : «De nombreuses données utilisées dans cet article sont issues d'archives secrètes. Aussi, les possibilités d'évaluer l'article et de permettre à d'autres scientifiques de reproduire l'analyse sont restreintes. La publication de cet article a pour objet d'illustrer l'exploitation potentielle des données classées et de stimuler la discussion sur leur rôle dans la littérature scientifique ouverte. Les limitations d'accès aux données rendent impossibles l'estimation de tous les aspects concernant la qualité, la sélection ou l'interprétation des données par le mécanisme habituel du comité d'évaluation.»

Membre du comité Médée, Thomas McCord, de l'Institut de géophysique et de planétologie d'Hawaii, a così-

4. UN SATELLITE MILITAIRE DSP (pour *Defense Support Program*) possède des capteurs infrarouges susceptibles de détecter l'entrée dans l'atmosphère terrestre d'une météorite de grande taille. Le 1^{er} février 1994, un tel satellite a enregistré l'arrivée d'une météorite qui explosa en libérant une énergie d'environ 630 kilotonnes. Les satellites DSP gravitent sur des orbites géostationnaires, à 35 900 kilomètres d'altitude.

gné un autre article qui utilise des données confidentielles : le texte envisage la possibilité qu'une grosse météorite s'écrase sur la Terre.

La crainte d'un tel impact météoritique avait déjà conduit l'armée de l'air à publier les données des 17 premières années du programme DSP, depuis 1970. Les satellites DSP détectent l'énergie infrarouge libérée par des explosions dont l'intensité est supérieure à celle qui est libérée lors de la destruction d'un avion. Aussi, lorsqu'une météorite assez grosse pénètre dans l'atmosphère terrestre, elle explose en émettant une signature infrarouge spécifique, détectable par les satellites DSP.

Ayant accès aux mesures DSP plus récentes et à d'autres données, T. McCord a décrit une météorite qui a pénétré dans l'atmosphère le 1^{er} février 1994, au-dessus de l'océan Pacifique, non loin de l'île de Kosrae. Selon T. McCord, la masse de cette météorite était comprise entre 500 et 9 000 tonnes.

T. McCord a publié l'analyse de l'événement le 25 février 1995 dans le *Journal of Geophysical Research* : à partir des enregistrements des DSP et d'autres détecteurs, il a estimé l'orbite, la masse, la fragmentation et l'énergie libérée par la météorite (entre 34 et 630 kilotonnes). L'article précisait l'endroit où la météorite a été détectée pour la première fois (à 54 kilomètres d'altitude), sa trajectoire, son angle de pénétration dans l'atmosphère, sa désintégration, et comment les auteurs ont calculé son orbite et l'énergie libérée.

En revanche, T. McCord n'a pas décrit les capteurs utilisés ni mentionné leur embarquement dans les satellites DSP. Il indiquait seulement que les données provenaient de capteurs sensibles aux infrarouges et à la lumière visible, embarqués dans des engins du ministère américain de la Défense.

Renseignements d'urgence

Les membres du comité Médée ont aidé la communauté du renseignement à évaluer les dégradations environnementales et les catastrophes naturelles. Ces études écologiques sont devenues importantes, en 1993, lorsqu'une directive présidentielle décréta que les problèmes d'environnement sont des facteurs importants de la politique des États-Unis.

Par ses études de la Russie et de l'Europe de l'Est, le comité Médée a aidé les services de renseignements à évaluer les effets d'une série de marées noires dans la région de Komi, en Russie, et de la mise en décharge des armes chimiques russes dans l'Arctique. Selon un membre du NRO, les spécialistes du Bureau de cartographie et d'imagerie du ministère américain de la Défense ont appris quelques méthodes astucieuses de combinaison des données recueillies à différentes longueurs d'onde, pour créer une image unique contenant plus d'informations que chacune des images initiales.

Plusieurs membres du comité ont aussi participé au Groupe de travail sur l'environnement, présidé par le vice-président Al Gore et par le Premier ministre russe Viktor Chernomyrdine. Le groupe de travail a notamment échangé des images satellites, afin d'aider au nettoyage des zones entourant les installations militaires russes.

Puis, ensemble, les services secrets américains et le comité Médée ont étudié les inondations de l'hiver 1996-1997, en Californie du Nord, les dégâts causés par les ouragans dans le Sud-Est des États-Unis et les changements de régime du volcan de Montserrat, peu avant qu'il n'entre en éruption, en 1995. Dans ce dernier cas, ils ont alerté le gouvernement de l'île, qui a évacué 4 000 personnes de la zone dangereuse.

Enfin le comité a aidé les services forestiers américains qui n'avaient pas assez d'avions pour déterminer l'étendue des incendies en Alaska, en juin 1996. La tâche était aisée pour les satellites DSP et de reconnaissance.

L'avenir de Médée

Doit-on intensifier le programme Médée? Le gouvernement américain craint que l'utilisation de données secrètes par des organismes civils ne perturbe la discussion démocratique de leur politique : une telle utilisation interdirait aux responsables de donner l'ensemble des informations nécessaires aux prises de décision, de sorte que les experts extérieurs n'auraient pas accès aux données sur lesquelles ces politiques sont fondées. L'utilisation de systèmes de renseignements pour la recherche environnementale pourrait aussi freiner l'utilisation de satellites com-

merciaux de résolution suffisante pour la recherche environnementale – dont les résultats seront immédiatement disponibles pour un auditoire beaucoup plus vaste. Enfin, certains ont craint que les services de renseignements ne passent trop de temps à des tâches qui ne sont pas de leur ressort, mais selon Bo Tumas, directeur du programme Renseignement et environnement à la CIA, la collecte de données pour l'environnement occupe moins de un pour cent du temps des satellites de reconnaissance.

Malgré les difficultés, le comité Médée prépare une base de données importante sur l'environnement pour les scientifiques du XXI^e siècle. Au sein de la CIA, il promeut l'élargissement de la diffusion des données. Par exemple, les scientifiques de Médée ont déjà proposé de publier toutes les images satellites en rapport avec l'environnement jusqu'à aujourd'hui, quitte à réduire la résolution des satellites actuels en fournissant des images plus grossières. Les responsables de la CIA ont rejeté cette proposition, mais, sans le programme Médée, une telle possibilité n'aurait même sans doute jamais été envisagée.

Médée est autant une expérience que le fruit du travail de ses participants. Comme pour chaque expérience, il y aura des théories, des découvertes inattendues et, espère-t-on, des progrès à mesure que la collaboration entre les scientifiques et les espions mûrira.

Jeffrey RICHELSON travaille aux Archives pour la sécurité américaine, à Washington D.C.

Atlas de géographie de l'espace, sous la direction de Fernand Verger, éditions Belin, 1997.

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

Gregg EASTERBROOK, *A Moment on the Earth : The Coming Age of Environmental Optimism*, Viking, 1995.

Scientific Utility of Naval Environmental Data, Medea Program Office, McLean, Va., 1995 (tel : 703-883-5265).

Scott PACE et al., *Using Intelligence Data for Environmental Needs : Balancing National Interests*, Rand, Santa Monica, Calif., 1997.

Les nouvelles théories des cordes

MICHAEL DUFF

Les physiciens qui cherchent à décrire tous les types de forces par un même formalisme ont amalgamé la théorie des cordes à une théorie des membranes et à une théorie des trous noirs.

La science serait un édifice achevé? Toutes les découvertes importantes auraient déjà été faites? C'est douteux : les deux principaux piliers de la physique du XX^e siècle, la mécanique quantique et la théorie de la relativité générale, restent incompatibles : la relativité générale ne se plie pas aux lois quantiques, qui décrivent le comportement des particules élémentaires, tandis que les trous noirs ne sont pas décrits par la mécanique quantique. Cette difficulté est la promesse d'une révolution scientifique à venir.

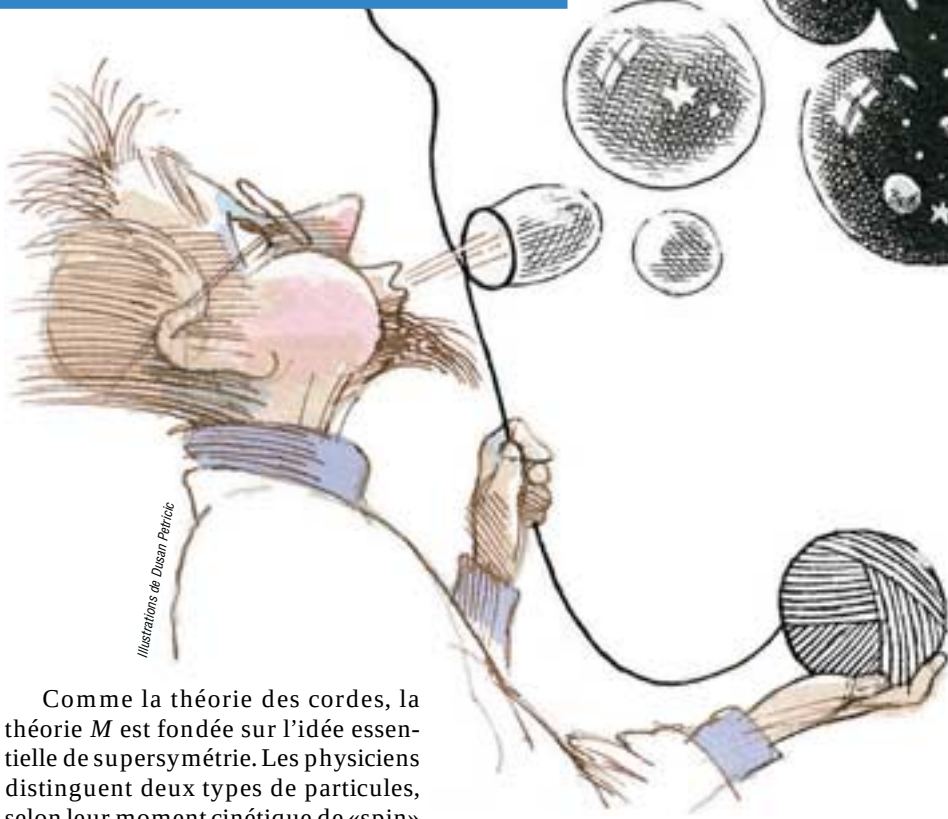
Encore récemment, on espérait que la théorie des cordes unifierait la gravitation et la mécanique quantique, et décrirait tous les phénomènes physiques à l'aide du même formalisme : les cordes sont des objets à une dimension dont on utilise les modes de vibration pour représenter les particules élémentaires. Puis, au cours des deux dernières années, la théorie des cordes a été détrônée par la théorie *M*, ou théorie des membranes, que nous examinerons plus loin. Chaque jour, cette théorie semble de plus en plus assurée : depuis l'apparition de la théorie des cordes, jamais la physique théorique ne s'est sentie aussi près du but.

Comme la théorie des cordes, la théorie *M* est fondée sur l'idée essentielle de supersymétrie. Les physiciens distinguent deux types de particules, selon leur moment cinétique de «spin» (le spin est un moment cinétique de rotation intrinsèque, comme si les particules tournaient sur elles-mêmes, à la façon de toupies). La supersymétrie stipule que, pour chaque particule connue dont le spin est un multiple entier de la constante de Planck (0, 1, 2, 3), il existe une particule de même masse ayant un spin demi-entier (1/2, 3/2, 5/2...), et vice versa.

Pourquoi les physiciens n'ont-ils découvert aucun de ces superpartenaires? Ils supposent que la symétrie existe, mais qu'elle est «brisée» : les particules postulées seraient trop massives pour être observées dans les accélérateurs actuels. Malgré l'absence de confirmations de la supersymétrie, les théoriciens ont conservé leur foi en l'hypothèse, parce qu'elle permet d'unifier les interactions faible, électromagnétique et forte à la force de gravitation.

La supersymétrie transforme les coordonnées d'espace et de temps, de sorte que les lois de la physique soient les mêmes pour tous les observateurs. Comme la théorie de la relativité générale découle de cette condition, la supersymétrie peut décrire la gravitation. La supersymétrie prédit même la «supergravité», où une particule de spin égal à 2 – le graviton – transmet les interactions gravitationnelles et possède le gravitino comme partenaire supersymétrique de spin égal à 3/2.

Cependant la relativité générale peut être généralisée à n'importe quel nombre de dimensions d'espace-temps (notre Univers a trois dimensions d'espace et une dimension de temps) : en principe, ses équations peuvent être écrites dans un espace à plus de quatre dimensions. En revanche, la super-



Illustrations de Dusan Petricek