

Numéro 7

Décembre 1986

## LA SURVEILLANCE PAR SATELLITE ET LES CAPACITÉS DU CANADA

Dept. of External Affairs  
Min. des Affaires extérieures

par Ronald Buckingham

EB 10 1987

RETURN TO DEPARTMENTAL LIBRARY  
RETOURNER A LA BIBLIOTHÈQUE DU MINISTÈRE

### HISTOIRE DE LA TÉLÉDÉTECTION ET DE LA SURVEILLANCE

En 1959, le satellite américain Explorer-6 transmettait les premières photographies de la terre prises depuis l'espace. Un an plus tard, soit en avril 1960, le premier des satellites météorologiques TIROS était lancé dans l'espace et commençait à relayer des données météorologiques à la terre. Le satellite se déplaçait sur une orbite circulaire à 830 kilomètres d'altitude, ce qui est typique d'une mission de télédétection. Le TIROS-1 a duré 89 jours seulement, et ses deux caméras de télévision transmettaient des images dont la résolution était d'un kilomètre, mais il a montré clairement que l'observation de la terre par satellite offrait de formidables possibilités. À mesure que des véhicules spatiaux munis d'instruments toujours plus perfectionnés étaient lancés, la transmission de données météorologiques par satellite n'a pas tardé à devenir quelque chose de courant pour le public.

Dans le cadre du programme américain de vols spatiaux habités, les astronautes des capsules Mercure avaient pris des photos intrigantes avec des caméras manuelles; par la suite, soit en juin 1965, les astronautes J.A. McDivitt et E.H. White commencèrent à photographier la terre systématiquement depuis leur capsule Gemini. À cause de l'utilité de leurs 39 premières photographies couleurs sectionnelles à chevauchement, la NASA décida de poursuivre un programme de télédétection dans le cadre des missions Gemini, puis Apollo et Skylab.<sup>1</sup>

Pendant ce temps, les États-Unis et l'URSS avaient également mis au point des techniques de surveillance par satellite (le mot "surveillance" est l'équivalent militaire du terme scientifique "télédétection"), pour garantir la sécurité nationale. La surveillance aérienne avait commencé en 1859, quand on prit des photos depuis une montgolfière près de Paris. Cette nouvelle technique fut appliquée pour la première fois quelques années plus tard, pendant la Guerre de sécession aux États-Unis. La reconnaissance photographique devint une discipline spécialisée pendant les guerres ultérieures et, fait qui allait compter considérablement à l'ère encore lointaine des satellites, le radar imageur et la photographie couleurs en infrarouge furent inventés pendant la Seconde Guerre mondiale.<sup>1</sup> En 1956, les premiers avions américains U-2 effectuèrent des vols de reconnaissance photographique au-dessus de l'URSS, et ces missions se poursuivirent jusqu'en mai 1960, époque où Francis Gary Powers fut abattu par un missile soviétique à 70 000 pieds d'altitude. L'événement fit les manchettes, mais il demeure qu'à ce moment-là, plus de quarante avions de reconnaissance américains et alliés avaient été abattus depuis la fin des années 1940.<sup>2</sup> Les vols d'avions U-2 ont cessé juste au moment où la technologie des satellites commençait à s'épanouir. Or, on voyait dans ces engins des instruments plus utiles que l'avion, et ce, pour trois raisons : à l'époque, les satellites étaient invulnérables; ils pouvaient surveiller des régions plus vastes, et leur présence n'était pas aussi provocante que les vols d'avions pilotés. En mars 1955,

43-244-570

c'est-à-dire deux ans avant le lancement du premier Spoutnik, les États-Unis avaient amorcé, sous la gouverne de la CIA, un programme de recherches sur les techniques de surveillance par satellite. La première capsule de films renvoyée à la terre par le satellite Discoverer-13 fut récupérée le 11 août 1960. Au moment où John Kennedy accédait à la présidence, les satellites de surveillance infirmaient la thèse voulant qu'il y eut un écart entre les États-Unis et l'URSS quant au nombre de missiles existant de part et d'autre. En 1963, les appareils utilisés fournissaient déjà des photos de "surveillance de zone" et des photos en "vue rapprochée". Les Soviétiques lancèrent leur programme Cosmos à ce moment-là, et l'on peut penser qu'ils recueillaient alors de l'information d'une qualité comparable à celle des données américains. Les moyens techniques de surveillance que les deux pays se donnèrent ainsi les rassurèrent suffisamment pour les amener à amorcer les pourparlers sur la limitation des armements stratégiques (SALT) en 1969.<sup>3</sup>

L'évolution des techniques de surveillance et des moyens de télédétection s'est poursuivie en parallèle. Aux États-Unis, la NASA et l'Armée de l'air se sont partagées l'information, sous réserve des exigences du secret. Quant à elle, l'URSS ne divise pas ses efforts entre les secteurs civil et militaire, et elle possède donc une seule infrastructure dans ce domaine.

Dès 1971, les États-Unis plaçaient sur orbite quasi polaire des satellites de surveillance "Big Bird" de 20 000 livres; en général, ceux-ci avaient un apogée (point le plus haut de l'orbite) de 290 kilomètres, et un périégée (point le plus bas de l'orbite) de 180 kilomètres. À des altitudes aussi basses, ces gros objets rentrent rapidement dans l'atmosphère à cause de la traînée; la durée de vie des trois premiers Big Bird a été de 52, 40 et 68 jours respectivement, tandis que les engins spatiaux russes équivalents sont restés en service deux semaines chacun en moyenne! C'est pourquoi l'URSS a lancé 395 satellites de surveillance entre 1960 et 1977, comparativement à 227 du côté américain.<sup>2</sup> Ce serait après le lancement du satellite d'inspection "en vue rapprochée" KEY-HOLE-8 (KH-8), en juillet 1966, que les États-Unis auraient décidé que les images photographiques recueillies étaient assez nettes pour leur permettre d'envisager la conclusion d'accords sur la limitation des armements. En décembre 1976, les Américains ont lancé leur premier satellite de reconnaissance photographique à imagerie électronique, le KH-11. Ce fut aussi le premier engin à pouvoir transmettre ses images à la terre par télémétrie numérique; il était muni d'un système de propulsion permettant de modifier son orbite. Il fut dès lors possible de prolonger sensiblement la durée de vie de ce mo-

dèle, et certains KH-11 ont pu rester en orbite pendant plus de deux ans.

Les Américains ont continué de lancer des satellites Big Bird et KH-11 pendant les années 1970 et jusqu'à tout récemment, quand ils ont perdu une navette spatiale et un lanceur Titan. C'est pendant cette période que les satellites géostationnaires "Rhyolite" et "Chalet" destinés à intercepter les communications sont devenus opérationnels.<sup>4</sup> Il est possible que les États-Unis exploitent des véhicules spatiaux munis de radars à imagerie à haute résolution, dans le cadre du programme "Clipper Bow" qui aurait démarré en 1983,<sup>5</sup> mais cela n'a pas été confirmé.<sup>4</sup> Le satellite de surveillance de la prochaine génération, le KH-12, est tellement gros qu'il emplira à lui seul la soute de la navette spatiale. Il possédera à son bord des caméras de surveillance en vue rapprochée et de zone, ainsi que des imageurs en infrarouge.<sup>4</sup>

Au cours des années 1970, les Soviétiques auraient déployé des satellites de surveillance qui renvoyaient leurs films à la terre; à l'heure actuelle, cependant, ils disposent d'imageurs électroniques dont les émissions sont transmises par voie numérique à la terre. En outre, l'URSS possède deux groupes de satellites intercepteurs de communications qui évoluent sur des orbites basses.<sup>4</sup>

Pour des applications civiles, les États-Unis ont mis au point le *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS) vers la fin des années 1960, et le premier engin de ce genre, rebaptisé "Landsat" a été lancé en 1972.<sup>1,6</sup> Ce fut là le début d'un programme très réussi qui fournit aujourd'hui de l'information à des abonnés dans de nombreux pays. Par ailleurs, le véhicule Seasat lancé en 1978 a montré le potentiel du radar imageur d'océans. L'engin russe Cosmos-954 à propulsion nucléaire, qui s'est abîmé au-dessus du Canada en janvier 1978, était lui aussi muni d'un tel radar.<sup>5</sup> Le plus récent dispositif de télédétection est français; il s'agit du Système probatoire d'observation de la terre (SPOT) qui a été lancé en février 1986 et qui fournit les meilleures images à haute résolution qu'on puisse obtenir actuellement par voie commerciale.<sup>6,7</sup>

## LA TECHNOLOGIE SPATIALE CANADIENNE

Le 28 septembre 1962, une fusée américaine Thor-Agena a emporté avec elle un satellite canadien depuis la base de Vandenberg, en Californie. Le Canada devenait ainsi le troisième pays dans l'espace, après l'URSS et les États-Unis. Les quatre premiers satellites Alouette et ISIS ont servi à mener des recherches scientifiques. Ils portaient des instruments semblables à des radars et appelés "son-

des par le dessus" pour étudier l'ionosphère. Tout au long des années 1970 et 1980, le Canada s'est affirmé dans le domaine de la technologie spatiale, tant au niveau gouvernemental que dans l'industrie privée des techniques de pointe. Après des travaux accomplis par le ministère de la Défense nationale (MDN), le ministère des Communications (MDC) a perfectionné des techniques propres aux satellites de communications, de sorte que le Canada s'est imposé sur la scène mondiale dans ce domaine. Télésat Canada a commencé à exploiter le premier réseau national du monde en janvier 1973, avec le lancement d'ANIK A. Pendant cette même période, le Conseil national de recherches du Canada (CNR) a soutenu la mise au point d'instruments canadiens de spatologie et du bras télémanipulateur, il a aidé à réaliser notre programme des astronautes et à définir notre rôle dans les travaux concernant la station spatiale américaine.<sup>8</sup> Des universités canadiennes, telles que celles de York, de Calgary et de la Saskatchewan, ont porté à un haut niveau d'excellence nos connaissances en spatologie, mais en tant que membre de l'OTAN et du NORAD, le Canada a compté sur les satellites américains pour ce qui est de la surveillance et de l'alerte avancée.

À cette époque également, l'activité des milieux de la télédétection s'est intensifiée au Canada, favorisée qu'elle était par les besoins de cette vaste terre riche en ressources. En mai 1971, le Canada et les États-Unis ont amorcé un programme coopératif faisant appel à des avions, puis à des engins spatiaux, pour faire de la télédétection. Au sein du gouvernement, le Centre canadien de télédétection, qui relève du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, a encouragé le développement des techniques de télédétection et favorisé la croissance de l'industrie dans quatre domaines : la mise au point d'instruments, la géodésie, le traitement des données au sol, et l'application de la télédétection dans divers secteurs de l'économie. Aujourd'hui, les produits canadiens, et en particulier les systèmes de traitement des images, se vendent dans le monde entier, et la Société canadienne de télédétection compte plus de 600 membres et est un organisme reconnu à l'échelle internationale.

Il n'existe aucune différence fondamentale entre les techniques de surveillance aux fins de la sécurité nationale et les techniques de télédétection. Les types d'instruments, les principes de conception et bon nombre des composantes sont identiques dans les deux secteurs. Les différences concernent les ordres de grandeur : les programmes de surveillance exigent habituellement une meilleure résolution, les instruments sont souvent plus gros, et il leur faut une plus forte alimentation électrique et des lanceurs plus puissants. Dans le cadre des missions de surveillance, le traitement au sol et l'analyse des

données peuvent nécessiter une main-d'oeuvre plus nombreuse et plus d'équipement, et il est probable qu'il s'écoulera moins de temps entre le stade de l'acquisition des données et celui de leur analyse au sol. Dans un cas comme dans l'autre, on peut diviser les satellites d'observation terrestre en six catégories, en fonction de leur rôle :

- télédétection au-dessus de la terre et des océans à des fins scientifiques et commerciales;
- surveillance (militaire) aux fins de la sécurité nationale;
- alerte avancée;
- météorologie;
- navigation, positionnement et géodésie;
- surveillance pour la vérification du respect des traités.

## LA VÉRIFICATION

*En ce qui concerne les armes détruites ou visées par des accords de limitation, la vérification se ferait par les moyens techniques nationaux et grâce à des inspections sur place. L'URSS est disposée à conclure une entente sur n'importe quelle autre mesure de vérification.*

Mikhail Gorbatchev  
16 janvier 1986<sup>4</sup>

Dans toutes les négociations dont le but ultime était la conclusion de traités sur la limitation des armements, l'interdiction des essais, la non-prolifération et d'autres thèmes de même ordre, la vérification a toujours été une question sous-jacente et probablement la dimension primordiale. En signant le Traité sur la limitation partielle des essais nucléaires en 1963, les États-Unis et l'URSS attestaient que les moyens techniques nationaux (MTN) avaient atteint un degré de perfectionnement tel que les deux pays estimaient pouvoir, grâce à eux, détecter toute violation du Traité. Le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires a été signé en 1968 et, en 1985, 130 pays l'avaient ratifié, y compris le Canada et trois des États munis d'armes nucléaires, à savoir les États-Unis, l'URSS et le Royaume-Uni. La Chine, la France, Israël et l'Inde n'ont pas paraphé le Traité.<sup>9</sup>

Au moment où elles ont signé le Traité sur la non-prolifération, les deux superpuissances ont convenu d'amorcer des négociations sur un Traité concernant la limitation des armements stratégiques (SALT). En 1972, elles ratifiaient le Traité sur les missiles anti-missiles balistiques (ABM) et l'Accord intérimaire sur la limitation des armes offensives.<sup>2</sup> Le traité subséquent, soit le SALT II, est entré en vigueur en juin 1979, bien que le Congrès américain ne l'eût jamais ratifié. Ce traité est officiellement venu à expiration le 31 décembre 1985, mais les

deux pays ont convenu de continuer à en respecter les clauses générales. Aux termes du SALT II, les États-Unis et l'URSS se sont entendus sur des limites applicables à des types particuliers d'armes, en s'inspirant du protocole de Vladivostok intervenu en 1974 entre le Président Carter et le Secrétaire Brejnev. Des plafonds numériques visaient aussi les vecteurs nucléaires stratégiques tels que les bombardiers lourds, les missiles balistiques intercontinentaux (ICBM), les missiles balistiques lancés depuis un sous-marin (SLBM), et les missiles air-surface.<sup>2,3,10</sup>

Les moyens techniques de vérification incluent les satellites de surveillance, la surveillance aérienne, les postes d'écoute et les instruments terrestres tels que les détecteurs sismiques et les radars. Au nombre des moyens non techniques, il faut compter les inspections sur place et d'autres méthodes, dont les analyses économiques, l'étude des documents et des discours, les entrevues avec des voyageurs et des immigrants, et les activités clandestines. La formule la plus fiable consiste à recueillir de l'information auprès de nombreuses sources différentes.

La question de la vérification technique sous-tend quatre grands aspects : les limites physiques de la technologie, la capacité de détecter les activités que l'adversaire cherche intentionnellement à dissimuler, les mesures de protection à prendre si l'une des parties essaie de confondre ou de détruire le réseau de surveillance de l'autre, et enfin (et c'est sans doute la tâche la plus difficile), l'interprétation objective des données.

Beaucoup d'arguments militent en faveur de la création d'un programme impartial de surveillance, qui serait administré et mené par des personnes venant de pays autres que les deux superpuissances. On a réclamé une telle structure à maintes reprises. Ainsi, pendant la Session extraordinaire de l'ONU sur le désarmement, en 1978, la France a proposé de mettre sur pied l'Agence internationale de satellites de contrôle (ISMA) et de la placer sous l'égide de l'ONU.<sup>11</sup> Dans un même ordre d'idées, l'amiral américain Stansfield Turner, ancien directeur de la CIA, a recommandé en 1985 que les États-Unis diffusent plus largement l'information recueillie grâce aux moyens techniques de surveillance. Citant une proposition formulée par le président Eisenhower en 1955, il a même évoqué la possibilité de créer une "agence de l'espace aérien sans frontières".<sup>12</sup> Même en l'absence d'une telle agence, nous connaissons déjà l'existence et les capacités générales de certains satellites américains de surveillance, renseignements qui, il y a à peine quelques années, étaient tous confidentiels. Six pays, nommément l'Argentine, la Grèce, l'Inde, le Mexique, la Suède et la Tanzanie, ont offert d'administrer ensemble un programme international de contrôle.<sup>4</sup> Au Canada,

le ministère des Affaires extérieures parraine une étude sur le déploiement possible d'un système de vérification au sol et dans l'espace qui s'appellerait PAXSAT. Bien qu'elle ne soit pas encore terminée, l'étude recommandera probablement le lancement d'un satellite canadien muni d'imageurs et d'un radar à haute résolution et la mise en place d'un système au sol hautement perfectionné.<sup>13</sup>

## QUOI ET QUI OBSERVER?

Comme les traités SALT concernaient les menaces stratégiques, les "cibles" tels que les missiles ICBM et SLBM, les avions stratégiques et les rampes de lancement constituaient les principaux objets de la vérification. (Le mot "cible" est ici employé sans allusion malveillante, pour décrire l'objet observé.) Un programme de vérification plus complet comprendrait l'observation de nombreux autres éléments, dont les navires de guerre, les stations radar, les usines et les entrepôts d'armes chimiques et biologiques, les installations militaires, les véhicules militaires terrestres et les usines d'armements en construction. Il importerait aussi de déceler les changements survenus entre un "balayage satellite" et le suivant, pour suivre toute évolution dynamique des choses. Il conviendrait en outre d'observer les missiles de croisière. Avec les techniques actuelles de télédétection, il est possible de les surveiller au sol, mais vu leur mobilité et leur petite taille, il est facile de les cacher dans des bâtiments ordinaires. En outre, ces missiles n'ont pas besoin d'un "soutien logistique" considérable, contrairement aux ICBM. Par conséquent, la vérification à cet égard suscite des controverses, et c'est sans doute une question qu'on ne pourra pas régler seulement par le biais des moyens techniques.<sup>4,10</sup> On a aussi proposé d'observer un certain nombre d'autres cibles; par exemple, on pourrait observer les réacteurs nucléaires et les usines d'enrichissement de l'uranium pour confirmer que les pays respectent les limites de production de matières fissibles destinées aux armes nucléaires.<sup>14</sup>

Les satellites munis d'antennes à grand gain et de récepteurs sensibles capables de couvrir une vaste partie du spectre des fréquences de communications peuvent intercepter les communications sol-sol et sol-espace, ou encore les capter "par indiscretion". Un organisme international de vérification pourrait techniquement assumer un tel rôle, mais à moins que toutes les parties intéressées, y compris les deux superpuissances, acceptent un contrôle de ce genre, on aurait là une formule peu pratique du point de vue diplomatique. En outre, on se heurterait à des défis techniques de taille, vu le degré de perfectionnement exigé du matériel et des res-

sources nécessaires pour traiter et décoder les données.

Quiconque voudra élaborer un réseau de surveillance pour la fin des années 1980 et la décennie ultérieure devra prendre en compte le fait que la conjoncture ayant abouti aux traités des années 1960 et 1970 n'est plus la même. Il importe toujours autant de s'assurer que les États-Unis et l'URSS respectent les traités sur la limitation des armements stratégiques et l'interdiction des essais, mais il faut aujourd'hui se soucier d'autres aspects également. De nombreux pays et groupes disposent de moyens plus considérables qu'autrefois pour provoquer une crise mondiale par une action militaire limitée, un accroissement de leurs arsenaux, des manœuvres de guérilla et le terrorisme. C'est pourquoi le réseau de surveillance devrait pouvoir observer toutes les régions du monde, et la présentation, l'interprétation et la diffusion objectives des données revêtraient une importance capitale.

### QUELLES DONNÉES ET QUEL POUVOIR DE RÉOLUTION FAUT-IL?

Afin d'exécuter certaines tâches de surveillance, il suffit simplement de détecter la présence d'un objet ou d'une activité; dans d'autre cas, cependant, il faut identifier la cible, voire en évaluer les dimensions. Le tableau 1 indique le pouvoir de résolution au sol (en mètres) nécessaire pour distinguer diverses cibles, en fonction de la nature de la tâche à accomplir.<sup>2</sup>

**TABLEAU 1** Pouvoir de résolution nécessaire pour exécuter diverses tâches de vérification

CIBLE	TÂCHE		
	Détection	Identification générale	Description
Radars	3	1	0,15
Avions	5	1,5	0,15
Navires	8	5	0,3
Véhicules	1,5	0,6	0,06
Routes	9	6	0,6
Sous-marins	30	6	0,6
Missiles ICBM	3	1,5	0,3
Missiles SLBM	30	6	1
Missiles de croisière (estimation)	1,5	0,6	0,06

L'observation de mouvements de troupes, surtout s'il s'agit de petits groupes, nécessite un plus haut pouvoir de résolution que pour des véhicules. Dans le cas de nombreuses cibles, la résolution "spectrale" (capacité de faire la distinction entre des longueurs d'onde particulières de la lumière ou d'autres rayonnements électromagnétiques) importe tout autant que la résolution "spatiale" au sol.

Les détecteurs infrarouges doivent pouvoir relever les variations de température utiles, et cela suppose normalement la capacité de distinguer des fluctuations de quelques degrés seulement.

### COMPOSANTES FONDAMENTALES D'UN RÉSEAU DE SURVEILLANCE PAR SATELLITE

Tout réseau de vérification comporte six éléments clefs :

- les satellites,
- la station de commande et de pistage des satellites,
- la station de réception des données,
- le centre de traitement des données,
- le groupe d'analyse et d'interprétation,
- le réseau de diffusion de l'information.

Le nombre de satellites et le choix des orbites dépendent de l'importance relative accordée à la couverture, à la résolution, à la durée de vie du système et au coût. Pour les missions de surveillance, on a la plupart du temps eu recours à des orbites polaires, parce qu'elles permettent de "balayer" toute la surface du globe. Tout dépendant de l'altitude de l'orbite et du (des) champ(s) optique(s) des instruments, il faut normalement compter plusieurs jours, voire des semaines, pour tout observer. D'autres orbites, telles que les orbites équatoriales et les orbites elliptiques inclinées, sont préférables pour répondre à certains besoins particuliers. Ainsi, l'URSS place fréquemment ses satellites sur des orbites de type "Molniva" : elles sont elliptiques et inclinées à soixante-cinq degrés environ et elles ont leur apogée au-dessus de l'hémisphère Nord. Ces trajectoires offrent aussi une bonne vue des régions septentrionales. À mesure que le nombre de satellites croît, le temps entre les observations d'une même cible diminue et, tout dépendant des orbites choisies, il est dès lors possible de mieux couvrir la surface terrestre. Si l'altitude est moindre, la résolution s'améliore, mais la largeur du couloir balayé à chaque passage et la durée de vie du satellite diminuent, et ce, quelle que soit l'orbite. Comme nous l'avons déjà dit, les satellites de reconnaissance photographique évoluent sur des orbites très basses et ont une courte durée de vie, mais ils peuvent prendre des images dont la résolution est inférieure à dix centimètres. À l'autre extrême, les satellites géostationnaires gravitant sur des orbites de 36 000 kilomètres (on s'en sert pour la météorologie, l'alerte avancée, la navigation et les communications) couvrent presque toute la terre, mais la résolution des images transmises est de l'ordre d'un kilomètre.

Un satellite simple muni d'instruments ordinaires peut coûter de cinquante à cent millions de dollars,

et les frais de lancement vont se situer dans la même gamme, mais il faudra s'attendre à des montants beaucoup plus élevés s'il s'agit de satellites portant des instruments complexes (de grosses antennes radar, par exemple). Ainsi, le prix d'un KH-11 atteint, semble-t-il, les cinq cents millions de dollars américains.<sup>4</sup> L'énergie électrique nécessaire influe énormément sur la taille et le coût d'un satellite. Les gros instruments peuvent consommer des milliers de watts que leur fourniront habituellement de grands panneaux solaires ou des réacteurs nucléaires. En outre, les satellites de surveillance doivent être minutieusement stabilisés, car la stabilité influe sur la résolution des instruments. Il faut donc souvent équiper les gros véhicules spatiaux de systèmes complexes et coûteux de contrôle d'attitude.

Les missions de surveillance permettent de recueillir beaucoup de données brutes. Par exemple, le système SPOT transmet par télémétrie 50 mégabits par seconde. Une fois les données parvenues au sol, on emploie des logiciels spécialisés pour leur donner une forme utile. Tout dépendant de l'application envisagée, on pourra avoir besoin pour cela aussi bien d'un ordinateur personnel que d'un gros processeur cellulaire ultrarapide. De nombreuses tâches de surveillance n'exigent pas que les données soient traitées en "temps quasi réel", contrairement à ce qu'il faut faire avec les données transmises par les satellites d'alerte avancée.

L'analyse et l'interprétation revêtent une importance critique, et les techniques mises au point pour la télédétection peuvent aussi servir à la surveillance et à la vérification. Comme nous l'avons déjà souligné, le recours à divers instruments, à des modes de fonctionnement multiples et à des moyens variés de vérification technique et non technique favorise une interprétation très objective et précise. Une fois les données traitées, il faut les transmettre efficacement ou les fournir sur demande aux personnes et organismes qui en ont besoin. Des projets scientifiques, tels que le CANOPUS du CNR, ont montré que des réseaux informatiques spécialisés donnent de bons résultats. Et l'on peut se servir d'un canal exclusif sur un satellite de télécommunications (Anik, par exemple) pour acheminer les données d'un ordinateur à un autre.

### DÉTAILS FONDAMENTAUX SUR LES INSTRUMENTS D'OBSERVATION DE LA TERRE

Les instruments installés à bord des satellites et des avions ressemblent à ceux qu'on emploie au sol. Ce sont principalement les détails de conception et les matériaux choisis qui diffèrent, et non les principes de fonctionnement. Presque tous les appareils de télédétection jouent leur rôle en percevant un

rayonnement électromagnétique sous une forme ou une autre, que ce soit la lumière visible, les rayons infrarouges ou les signaux de télécommunications. Ces ondes électromagnétiques porteuses d'énergie voyagent toutes à la même vitesse dans le vide spatial, soit à la vitesse de la lumière ( $3 \times 10^8$  mètres par seconde). On peut donc dire qu'une onde se déplace dans l'espace tout en oscillant suivant une courbe sinusoïdale.

Il existe un rapport simple entre la fréquence\* d'une onde et sa longueur\*\* :

$$\text{Longueur d'onde} = \frac{\text{vitesse de la lumière}}{\text{fréquence}}$$

Par conséquent, comme la vitesse de la lumière est constante, on peut décrire avec tout autant de clarté une onde électromagnétique donnée—un signal radio, par exemple—en précisant sa longueur ou sa fréquence.

Le tableau 2 montre les zones du spectre électromagnétique classées en fonction de la longueur d'onde et des types d'instruments qu'on emploie pour la surveillance et la télédétection :

**TABLEAU 2** Le spectre électromagnétique et certains instruments types

Onde	Longueur d'onde	Instruments
Radio	10 km-20 cm	Récepteurs, sondeurs
Micro-onde	20 cm-0,1 cm	Récepteurs, radars, sondeurs, radiomètres, diffusiomètres
Infrarouge	1 cm-0,75 $\mu$	Imageurs, détecteurs, radiomètres
Visible	0,75 $\mu$ -0,4 $\mu$	Appareils optiques, lasers, lidars
Ultraviolet	0,4 $\mu$ -3 nm	Imageurs, spectromètres
Rayons X	3 nm-0,03 nm	Détecteurs, spectromètres
Rayons gamma	1 nm et moins	Détecteurs, spectromètres

\*La fréquence est le nombre de cycles d'une onde pendant une période donnée; le mot "hertz" désigne un cycle par seconde. Les préfixes "kilo-", "méga-" et "giga-" employés avec le mot "hertz" signifient respectivement un millier ( $10^3$ ), un million ( $10^6$ ) et un milliard ( $10^9$ ) de hertz.

\*\*La longueur d'onde, c'est la distance physique couverte par un cycle complet d'une onde qui se propage; elle s'exprime habituellement en unités métriques telles que le mètre, le centimètre (cm) et le kilomètre (km). Un millimètre (mm) équivaut à un millième ( $10^{-3}$ ) de mètre, un micron ( $10^{-6}$ ), à un millionième de mètre, et un nanomètre ( $10^{-9}$ ), à un milliardième de mètre.

Du point de vue purement physique, les instruments employant des longueurs d'onde plus grande qu'un millimètre environ sont principalement des appareils "électroniques", et ils interceptent ou émettent des signaux grâce à des antennes; si les longueurs d'onde se situent entre un millimètre et cinquante nanomètres à peu près, on parle surtout d'instruments "optiques" faisant appel à des techniques d'optique géométrique et à la diffraction. Sous le seuil des cinquante nanomètres, les appareils fonctionnent selon les principes de la physique des particules; ils observent les interactions entre le capteur même et des ondes ou particules bien déterminées. Pour observer la surface de la terre depuis un satellite, on ne peut employer que les ondes non absorbées par l'atmosphère. Ces ondes appartiennent à des zones du spectre qu'on décrit souvent comme étant des "fenêtres". La lumière visible, les rayons infrarouges (longueur d'onde d'environ dix microns), la plupart des micro-ondes et les ondes plus longues de l'ultraviolet passent toutes par ces "fenêtres".<sup>15</sup>

On pourrait classer les instruments de la façon suivante :

- détecteurs ou imageurs;
- appareils actifs ou passifs.

Un *détecteur* capte les rayons électromagnétiques d'une certaine intensité ayant telle ou telle longueur d'onde, mais il ne fournit aucun détail spatial. On peut cependant exploiter le mouvement du satellite ou de l'avion afin de créer des images à faible résolution, et cela suffit pour accomplir bien des tâches de surveillance. Parmi les détecteurs, citons ici le radiomètre, à titre d'exemple. Un *imageur* est en quelque sorte un détecteur qui obtient aussi des détails explicites sur les caractéristiques dimensionnelles de la cible, détails qu'on peut ensuite convertir en images. Une caméra appartient à la catégorie des imageurs.

Les instruments passifs interceptent des ondes provenant indépendamment de la cible. Dans cette catégorie, on retrouve les caméras, les télescopes, les radiomètres et les spectromètres, par exemple. Quant à eux, les instruments actifs émettent d'abord une onde vers la cible, puis ils captent l'écho que celle-ci renvoie et qui fournit l'information voulue. Les radars, les lidars et les sondeurs électromagnétiques, pour ne citer que ceux-là, sont des capteurs actifs.

## LES INSTRUMENTS DÉPLOYÉS DANS L'ESPACE ET LES CAPACITÉS DU CANADA

### *Instruments optiques—Spectre visible*

Cette catégorie comprend notamment les télescopes, les caméras, les spectromètres et les interféromètres. La résolution est définie comme étant le

plus petit intervalle au sol que l'instrument peut discerner. Le pouvoir de résolution est habituellement limité par la capacité de la surface sensible de distinguer les détails, quel que soit le degré de précision des éléments optiques. Pour l'imagerie électronique, on emploie des dispositifs à couplage de charge (CCD) ou des micro-circuits semblables à semi-conducteurs. Un CCD s'apparente à la rétine, et sa surface sensible compte environ un million de facettes distinctes appelées "pixels" et organisées pour former une matrice rectangulaire. La résolution de ces instruments dépend des dimensions du pixel qui mesure généralement entre cinq et trente microns. De la même manière, dans une caméra ordinaire, c'est le "grenu" de la pellicule qui limite la résolution.

La résolution spatiale ( $r$ ) d'un instrument optique est fonction de quatre éléments distincts, à savoir la distance entre l'objet et la surface sensible ( $h$ ) de l'instrument, la taille des pixels ou le grenu de la pellicule, la taille ( $d$ ) de l'objet, et la distance focale ( $f$ ), selon la formule géométrique suivante :

$$r = \frac{h \times d}{f}$$

Par exemple, si un satellite de vérification est placé en orbite à 400 kilomètres d'altitude et qu'on y installe un dispositif CCD dont les pixels mesurent 10 microns, alors la résolution sera d'un mètre moyennant une distance focale de 4 mètres. C'est là une grande distance focale, mais elle est réalisable, car elle est conforme à celles qu'on retrouve à bord des satellites espions actuels. Si l'on employait des "appareils optiques repliés", la longueur physique totale serait moindre. Les variations de l'atmosphère terrestre, les effets spectraux, les pertes par réflexion et d'autres phénomènes encore limitent en fait la résolution qu'il est possible d'obtenir, géométriquement parlant.

Le Canada possède des centres de recherche industriels, universitaires et gouvernementaux dans le domaine de l'optique. Ainsi, un certain nombre d'entreprises privées fabriquent des appareils optiques de précision, et plusieurs universités (l'université Laval, à Québec, par exemple) sont très connues à cause des recherches qu'elles mènent dans cette discipline. L'Observatoire Dominion du CNR, situé à Victoria, compte parmi les établissements qui ont mis au point des systèmes optiques complexes basés au sol; citons notamment un laser dirigé vers la lune, un système astronomique portable destiné à l'Arabie saoudite, et la participation à un projet canado-franco-américain portant sur la construction d'un télescope de 3,6 mètres sur le mont Mauna Kea, à Hawaii. En vertu d'un contrat obtenu du CNR, une société d'Ottawa a créé une caméra perfectionnée à dispositif CCD sensible aux

rayons ultraviolets (UV), pour l'engin spatial suédois Viking qui, après avoir été lancé en février 1986, produit maintenant les images de l'ultraviolet les plus détaillées jamais obtenues dans l'aurore boréale. À l'heure actuelle, une société de l'Ouest canadien travaille sur un interféromètre imageur doppler grand angle Michaelson (WAMDII) que la navette emportera à l'occasion d'une mission scientifique. Deux entreprises ontariennes collaborent avec la France pour construire un gros interféromètre imageur des vents (WINDII) qui sera monté par la NASA à bord de son satellite de recherches sur la stratosphère (UARS); ce satellite doit être lancé par la navette ou une fusée Titan vers la fin des années 1980.<sup>6</sup> De nombreuses sociétés canadiennes vendent des instruments optiques destinés à des dispositifs terrestres ou aériens.

#### *Radar à antenne synthétique (SAR)*

Un radar imageur diffère d'un radar de détection du fait que le faisceau transmis est relativement étroit et que l'onde réfléchiée par la cible est captée par l'antenne de façon telle qu'on obtient une image de l'objet visé. La résolution d'un radar imageur conventionnel dépend de la longueur d'onde de l'énergie émise, de la longueur de l'antenne, et de la distance séparant l'antenne et la cible. On s'est beaucoup servi des radars aéroportés à balayage latéral (SLAR) pour les travaux de télédétection. Cependant, ce type de radar imageur ne convient pas à un satellite, car les antennes devraient s'étendre sur des kilomètres pour permettre l'identification des cibles conformément aux exigences des missions de surveillance. Le radar à antenne synthétique contourne cette difficulté grâce à une ingénieuse méthode de traitement des signaux par laquelle on utilise le décalage Doppler de l'écho radar dans une équation prenant en compte la vitesse et la position de l'engin spatial; dès lors, la longueur ou l'ouverture de l'antenne semble nettement plus grande qu'elle ne l'est en réalité. Un véhicule spatial de surveillance muni d'un SAR dont l'antenne mesurerait de dix à vingt mètres de long pourrait exécuter de nombreuses tâches de surveillance, car la résolution des images serait de l'ordre d'un à cinq mètres.<sup>4</sup>

Les ondes radar pénètrent les nuages, et les instruments peuvent servir de nuit comme de jour. Le SEASAT A a été le premier SAR à confirmer le potentiel d'un satellite imageur d'observation de la terre; pendant sa courte période de vie, l'engin nous a fourni une foule de données sur les caractéristiques des océans. À l'heure actuelle, le Japon et l'Europe s'affairent à mettre au point un radar à antenne synthétique devant être déployé dans l'espace pour la réalisation de travaux commerciaux de télédétection.

Le tableau 3 décrit brièvement plusieurs missions SAR dignes de mention :<sup>1,6</sup>

**TABLEAU 3** Satellites munis de radars à antenne synthétique (SAR)

<i>Mission</i>	<i>Caractéristiques du radar</i>
Le SEASAT de la NASA lancé en juin 1978 et mis en orbite à 800 km d'altitude; il a cadré toutes les 36 heures 95 p.100 de la surface des océans de la planète.	Radar SAR travaillant dans la bande L et muni d'une antenne de 2,1 m sur 10,7 m offrant une résolution de 25 m sur 6 m le long d'un couloir de balayage de 100 m de largeur.
Le radar imageur SIR-A déployé par la navette Columbia en 1981.	Radar SAR SEASAT modifié muni d'une antenne de 9,4 m offrant une résolution de 40 m.
Le satellite ERS-1 qui doit être lancé en 1989 par l'Agence spatiale européenne et mis en orbite à 777 km d'altitude pour couvrir toute la terre toutes les 36 heures.	Radar SAR travaillant dans la bande C et nécessitant une puissance de crête de 4,8 kW; il est muni d'une antenne de 1,0 m sur 10 m offrant une résolution de 40 m.
L'engin japonais ERS-1 (même nom que le précédent) devant être mis sur orbite circulaire à 570 km d'altitude en 1991.	Radar SAR exigeant une puissance de 1,0 kW et muni d'une antenne de 2,4 m sur 12 m qui offre une résolution de 25 m.

Au cours des dix dernières années, le Canada a préparé le Radarsat qui devait être un satellite de télédétection muni d'un radar à antenne synthétique. En général, les études recommandaient une orbite circulaire fortement inclinée à une altitude de 800 à 1 000 kilomètres, un radar SAR fonctionnant à 5,3 gigahertz (bande C\*\*\*), et une résolution au sol d'environ 25 mètres avec un couloir de balayage d'à peu près 200 kilomètres, des faisceaux multiples et une antenne orientable.<sup>6</sup> En mai 1986, le ministre des Sciences et de la Technologie a annoncé que le gouvernement allait cesser d'accorder son appui financier au programme et il a demandé à l'industrie privée d'élaborer une stratégie de financement. Celle-ci est maintenant en voie de préparation. Par ailleurs, les modèles et les techniques qui ont été mis

\*\*\*La bande L comprend les micro-ondes dont la longueur d'onde se situe aux environs de 20 centimètres, et la bande C, celles dont la longueur d'onde est d'environ 5 centimètres.



au point serviront aussi dans le cadre de programmes dérivés, y compris ceux portant sur la création d'appareils de vérification. Le Radarsat mis à part, le Canada participe au programme ERS-1 de l'Agence spatiale européenne en lui fournissant le système de traitement au sol qui équipe le SAR.

Dans le domaine des dispositifs aéroportés, le Centre canadien de télédétection (CCT) a adjugé un contrat à une société de la Colombie-Britannique pour qu'elle mette au point un des premiers systèmes SAR canadiens; l'appareil est actuellement monté sur l'avion de recherche *Convair 580* du Centre.<sup>16</sup> Les radars aéroportés à balayage latéral (SLAR) ont été considérablement employés au Canada, et un certain nombre d'entreprises commerciales ont élaboré des méthodes d'application à cet égard et fournissent des services aéroportés de télédétection. D'autres sociétés canadiennes conçoivent et construisent des SLAR à haut rendement qui comptent parmi les meilleurs au monde.

#### *Analyseurs multispectraux (MSS)*

Ces appareils constituent les éléments clefs de la technologie actuelle des satellites de télédétection. Ce sont en fait des caméras électroniques qui fonctionnent dans le spectre visible et jusqu'au proche infrarouge, en employant un certain nombre de bandes spectrales discrètes. On met à profit le mouvement du satellite ou de l'avion pour balayer le champ visuel de l'analyseur au-dessus de la cible. Il est également possible d'utiliser un miroir de balayage. La cible est photographiée simultanément dans chaque bande et, après le traitement des données, on produit une image en couleurs réelles. Très souvent, on recourt aux fausses couleurs pour faciliter l'interprétation.

Les premières analyses multispectrales commerciales effectuées par satellite remontent à l'époque du Landsat A. Les images du Landsat nous sont familières, à cause de leur beauté; en effet, elles figurent souvent dans des magazines tels que le *National Geographic*. La NASA s'est délestée de ce programme en confiant la direction à la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), mais au cours de l'année dernière, c'est une société privée, l'EOSAT, qui en a pris la gouverne. Le Landsat D, qui est le plus récent de la série, possède un MSS à quatre bandes couvrant les zones de la lumière visible; il est également muni d'un nouveau type d'analyseur multispectral appelé "cartographe thématique", qui est expressément conçu pour mettre en évidence des catégories particulières de cibles, telles que les cultures, les forêts, etc. La résolution du MSS monté sur le Landsat aurait pu être meilleure, semble-t-il, mais le Pentagone a imposé des restrictions à la NASA.<sup>4</sup>

Le programme français SPOT a été conçu comme une entreprise commerciale dès l'origine, après que le gouvernement eut consenti à cet égard un investissement initial irrécouvrable.<sup>7</sup> Le SPOT offre une résolution au sol plus haute que celle du Landsat D, et ses deux MSS peuvent pivoter latéralement. Il peut donc produire des images stéréoscopiques de la cible, mais il n'a pas la portée spectrale du Landsat D. On s'affaire déjà à concevoir des satellites SPOT améliorés et, si l'entreprise connaît le succès commercial escompté, ces engins spatiaux seront mis en orbite au début des années 1990. Aux fins de la vérification, il convient de signaler ici que n'importe qui dans le monde peut avoir accès aux données recueillies par le SPOT et le Landsat.

Le tableau 4 détaille les caractéristiques des instruments montés sur ces deux satellites :<sup>1,6</sup>

**TABLEAU 4** Satellites munis d'analyseurs multispectraux (MSS)

<i>Mission</i>	<i>Caractéristiques des instruments</i>
Landsat D de l'EOSAT lancé en mars 1984 et mis sur orbite circulaire quasi polaire, à 700 km d'altitude.	MSS à 4 bandes couvrant les longueurs d'onde de 0,5 à 1,1 micron, avec une résolution au sol de 80 m.  Cartographe thématique qui est un MSS à 7 bandes couvrant les longueurs d'onde de 0,45 à 2,35 microns, avec une résolution au sol de 30 m.
SPOT français lancé en février 1986 et mis sur orbite quasi polaire à 832 km d'altitude.	Instrument à 3 bandes couvrant le spectre visible entre 0,51 et 0,89 micron; deux MSS avec une résolution de 20 m, pour l'imagerie multispectrale, et une résolution de 10 m, pour les images en noir et blanc.

Le Canada a mis au point de nombreux analyseurs aéroportés. Ainsi, le Centre canadien de télédétection a confié à contrat la création d'un balayeur imageur électro-optique (MEIS) qui, grâce à ses 1 728 éléments détecteurs tous munis d'une lentille distincte, a offert une résolution d'un mètre dans huit bandes spectrales.<sup>15</sup> En outre, le ministère des Pêches et Océans a adjugé un contrat portant sur la conception et la construction d'un imageur linéaire à fluorescence (FLI) qui sert actuellement à calculer les concentrations de plancton. Le modèle aéroporté est censé être le précurseur d'une version spatiale du même instrument.

Les lasers sont des instruments actifs qui produisent un étroit faisceau de lumière cohérente, habituellement dans le spectre visible; il existe cependant des lasers ultraviolet et infrarouges. Le laser présente un avantage du fait que le faisceau émis se disperse peu et demeure mince pendant tout son trajet. Les lidars (radars à laser) sont des instruments employés pour l'établissement des profondeurs et l'altimétrie.<sup>6</sup>

L'industrie canadienne montre la voie dans certains domaines, notamment en ce qui concerne les lasers commerciaux et les lasers de recherche à CO<sub>2</sub> et les lidars aéroportés. Une société canadienne a mis au point un bathymètre à laser dont on se sert actuellement pour dresser un profilage précis des fonds de nos eaux intérieures et côtières. Des altimètres à laser ont par ailleurs été créés. Des recherches sur les lasers ont été menées dans des laboratoires du gouvernement canadien, dont ceux du CNR et du ministère de la Défense nationale (MDN).

*Les instruments à infrarouge*

Les détecteurs et les imageurs à infrarouge ont de multiples applications aux fins de la vérification, notamment parce qu'ils peuvent servir de jour comme de nuit. Les États-Unis (et sans doute aussi l'URSS) les emploient pour la surveillance militaire, car ces appareils peuvent, mieux que n'importe quel autre capteur, repérer une activité ou un objet. Avec un capteur à infrarouge, il est donc possible d'observer un avion ou un missile en vol, un véhicule se déplaçant au sol, un navire évoluant en mer ou n'importe quoi qui émet suffisamment de chaleur. La NASA a lancé un satellite de cartographie des capacités thermiques (HCMM) en avril 1978; depuis une orbite située à 620 kilomètres d'altitude, son radiomètre géodésique non imageur à infrarouge a fourni une résolution d'environ 600 mètres uniquement grâce au mouvement de l'engin spatial.<sup>1</sup> Depuis lors, on a installé à bord des satellites des détecteurs imageurs à infrarouge qui offrent une bien meilleure résolution. Il faut cependant maintenir le détecteur à de très basses températures de façon que sa propre chaleur ne l'empêche pas de repérer celle de la cible. Le Canada n'a mis aucun instrument à infrarouge en orbite, mais il s'est beaucoup servi de ce type d'appareils pour observer depuis les airs des immeubles et des processus. Plusieurs sociétés canadiennes conçoivent et fabriquent d'excellents instruments aéroportés à infrarouge, et une entreprise de l'aérospatiale est un important fournisseur de capteurs militaires à infrarouge destinés aux navires.

Ces instruments ne sont pas très utiles pour les missions de surveillance, car l'atmosphère terrestre absorbe les ondes UV plus courtes. Cependant, certains processus physiques donnent lieu à des ondes UV plus longues qu'il est possible de détecter. Le Canada a construit des instruments terrestres à UV, notamment à l'Université de la Saskatchewan; comme nous l'avons déjà signalé ailleurs, c'est l'industrie canadienne qui a mis au point les excellentes caméras UV qui équipent le satellite suédois Viking.

### **TRAITEMENT AU SOL ET CAPACITÉS DU CANADA**

La conversion des données en images ou en renseignements objectifs et significatifs représente sans doute le volet le plus fondamental de tout système de surveillance. On traite les données brutes, parfois suivant une formule thématique, pour en arriver à l'illustration expliquant le mieux l'information à l'analyste et à l'utilisateur final. Très souvent, ces images ne sont pas des reproductions photographiques, car on recourt aux fausses couleurs et à l'enrichissement stéréoscopique pour clarifier les détails. Si l'on connaît les caractéristiques de l'engin spatial, de la cible et même du bruit dégagé par l'instrument, les dispositifs actuels de traitement au sol peuvent appliquer les techniques de l'amélioration et de la restauration d'images pour produire une illustration qui, à bien des égards, élimine les erreurs introduites par le capteur. On peut mettre des détails en évidence pour aider l'interprète, ou encore analyser conjointement l'information fournie par différents capteurs. Le fait récent le plus important, c'est qu'on emploie maintenant l'intelligence artificielle pour exécuter des travaux complexes de télédétection. Les logiciels utilisés rendent l'ordinateur capable d'un processus décisionnel assimilable à celui du cerveau humain, grâce à une base de connaissances spécialisées qui est intégrée au programme.<sup>1,15</sup>

Plusieurs sociétés canadiennes vendent partout dans le monde leurs systèmes de traitement des images Landsat et elles sont maintenant en train de commercialiser des systèmes compatibles avec le SPOT. L'une d'elles fournit le système au sol pour le satellite ERS-1 de l'Agence spatiale européenne (voir plus haut), et son plus récent dispositif l'emporte sur tous les autres offerts ailleurs dans le monde. Une autre entreprise ontarienne très prospère vend des systèmes compatibles avec le SPOT, notamment à la Chine et à la Suède (station terrestre du réseau SPOT, à Kiruna). Et il y a bien d'autres exemples. Une maison d'Ottawa a mis au point pour le Centre canadien de télédétection un système "ra-

pide" perfectionné, tandis que deux entreprises de Toronto et de Montréal viennent de présenter des systèmes peu coûteux qui fonctionnent avec un ordinateur personnel. Enfin, il existe une dizaine de sociétés canadiennes qui se spécialisent dans l'interprétation des images pour les diverses industries s'intéressant aux ressources naturelles.

### **LES ENGINES SPATIAUX, LES STATIONS TERRESTRES ET LES CAPACITÉS DU CANADA**

Le Canada a acquis des capacités de calibre mondial pour concevoir, construire et relier des engins spatiaux et des stations terrestres. Notre plus grande société aérospatiale a fourni la plupart des satellites Anik et le Brazilsat, et elle a été au nombre des principaux entrepreneurs chargés de fabriquer d'autres satellites tels que le Hermes. En collaboration avec une société de l'Ouest canadien, elle a aussi fourni de nombreuses stations réceptrices locales et stations terrestres de commande de satellites de communications, et elle vend aujourd'hui ses produits partout dans le monde, y compris au Nigéria et en Chine. Par ailleurs, une entreprise canadienne a joué un rôle déterminant dans l'établissement des quelque quatorze stations terrestres Landsat disséminées dans le monde, sauf une. Dans le cadre du programme international de recherche et de sauvetage par satellite (SARSAT), une maison d'Ottawa a mis au point et vend maintenant le système de traitement au sol le plus perfectionné au monde.

Le Canada participe activement au programme Landsat depuis ses tout débuts; il a d'abord érigé une station terrestre à Prince Albert (Saskatchewan) et il en a installé une autre, plus tard, à Shoe Cove (Terre-Neuve), pour appuyer les opérations des réseaux Landsat et Seasat. En mai 1986, une troisième station a été construite à Gatinéau (Québec) et elle contribue en plus au fonctionnement du SPOT. À Ottawa, le laboratoire David Florida constitue l'un des centres d'essai de satellites les plus modernes au monde; par ailleurs, le poste de commande et de pistage des véhicules spatiaux aménagé au même endroit, soit à Shirley Bay, a servi à guider et à diriger les cinq satellites canadiens de recherches scientifiques et technologiques.

## **CONCLUSION**

La technologie de la télédétection par satellite est presque parvenue à maturité du point de vue commercial, et le pouvoir de résolution des appareils est bien près de celui qu'exigent les missions de surveillance.<sup>17</sup> D'ici 1991, un déluge de données de haute qualité proviendra des systèmes commerciaux existants, tels que le Landsat et le SPOT, mais aussi des véhicules devant être lancés bientôt : l'ERS-1, le satellite japonais muni d'un radar à antenne synthétique, les versions améliorées du SPOT et de l'ERS qui en sont maintenant aux stades de la planification ou de la mise au point,<sup>18</sup> et peut-être aussi les engins qui verront le jour à la faveur de programmes de sécurité nationaux américains ou soviétiques.

Le Canada possède une industrie des satellites expérimentée, des spécialistes de la télédétection, de solides compétences dans le domaine des instruments spatiaux et aéroportés, et une technologie de calibre mondial en ce qui concerne la réception au sol et le traitement des données obtenues par télédétection. En outre, son objectivité et sa capacité de mener des opérations de maintien de la paix lui ont valu une réputation internationale.

La mise sur pied d'un organisme international et impartial de surveillance par satellites répondrait à un besoin on ne peut plus réel, et il est logique de penser que le Canada en ferait partie. Une des solutions prometteuses consisterait à faire en sorte que le centre technique de l'organisme reçoive des données de toutes les sources existantes, données auxquelles s'ajouteraient, le cas échéant, celles qui proviendraient d'un satellite spécialisé de surveillance conçu et exploité sous la gouverne de l'organisme en question. Le satellite aurait trois grands rôles : fournir sur des cibles bien précises des renseignements vitaux impossibles à obtenir autrement, confirmer la validité des données reçues d'autres organismes, et offrir des "images-contrôles" des cibles.

Cependant, ce serait sans doute au sol que se trouverait le défi le plus formidable à relever, car c'est là qu'il faudrait mettre en corrélation, traiter, analyser et interpréter les données objectivement.

## NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Colwell, Robert N. (sous la dir. de), *Manual of Remote Sensing*, vol. 1, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginie, 1983.
2. Potter, William C., *Verification and SALT*, Westview Press, Boulder, Colorado, 1980.
3. Greenwood, T., "Reconnaissance and Arms Control", *Scientific American*, février 1973.
4. Adam, John A. et coll., Compte rendu spécial, "Verification: Peacekeeping by Technical Means", *IEEE Spectrum*, vol. 23, n° 7, juillet 1986.
5. Bertram, Christoph, *Arms Control and Military Force*, International Institute for Strategic Studies, Gower Publ. Co., R.-U., 1980.
6. Schnapf, Abraham (sous la dir. de), *Monitoring Earth's Ocean, Land and Atmosphere from Space; Sensors Systems and Applications*, vol. 97, dans la série de l'AIAA : *Progress in Astronautics and Aeronautics*, AIAA (éd.), New York, 1985.
7. Jaques, R., Lopez, R., "Looking Down for Money", *Space Markets*, publications Interavia, été 1986, vol. 2.
8. Hartz, T., Paghis, I., *Spacebound*, Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa, 1982.
9. Epstein, William, *La non-prolifération des armes nucléaires*, Exposé n° 4 de l'ICPSI, Ottawa, 1986.
10. Hafemeister, D., Romm, J., Tsipis, K., "The Verification of Compliance with Arms Control Agreements", *Scientific American*, mars 1985.
11. Jasani, Bhupendra, "Arms Control and Conflict Observation Satellites", *Space Policy*, vol. 1, n° 4, novembre 1985.
12. Turner, Stansfield, "Opening the World's Skies for Mankind", *Space Policy*, vol. 1, n° 4, novembre 1985.
13. "PAXSAT", Brochure de SPAR Aerospace, 1985.
14. Von Hippel, F., Albright, D., Levi, B., "Stopping the Production of Fissile Materials for Weapons", *Scientific American*, septembre 1985.
15. Harper, Dorothy, *Eye in the Sky—Introduction to Remote Sensing*, Multiscience Publications Ltd., Montréal, 1983.
16. Bruzzi, S., Guignard, J., Pike, T., "Quality Assessment of Remote Sensing Data—the SAR Case", *Journal de l'ASE*, vol. 6 n° 3, 1982.
17. Rekenhaller, Douglas, "Satellite Surveillance", *Journal of Defense and Diplomacy*, vol. 3, n° 9, septembre 1985.
18. de Villiers, J.N., "ESA's Plans for Future Earth Observation Programmes", *Bulletin de l'ASE*, n° 37, février 1984.

M. Ronald Buckingham a dirigé le projet de recherche sur les instruments imageurs UV destinés aux satellites Viking; il travaille dans l'industrie aérospatiale canadienne depuis 1971.

Les opinions exprimées dans l'exposé sont celles de l'auteur et elles n'engagent en rien l'Institut ni le Conseil.

Publication de l'Institut canadien pour la paix et la sécurité internationales. Pour obtenir des exemplaires supplémentaires, prière d'écrire à l'Institut, au 307, rue Gilmour, Ottawa (Ontario), K2P 0P7.

*Also available in English.*

