

Les débuts de la géodésie spatiale

■ Jean KOVALEVSKY et François BARLIER

MOTS-CLÉS

Histoire, géodésie, photographie satellitaire, laser, effet Doppler, forces non gravitationnelles

L'aventure spatiale en France commence en octobre 1957, après le lancement du premier Spoutnik. Paul Muller, astronome à l'Observatoire de Paris, alors en mission au Pic du Midi, découvre le satellite qui

traversait le ciel et tente d'en déterminer quelques positions. De retour à Paris, il décide d'observer les positions des satellites artificiels à l'aide d'un théodolite et d'un chronographe qu'on déclenchait lorsque l'image de l'objet traversait la croisée des fils du réticule, puis on notait la hauteur et l'azimut visés. Tels furent les débuts des observations des satellites artificiels qui ont continué en se servant de moyens de plus en plus sophistiqués.

La géodésie tridimensionnelle et l'IGN

Très rapidement, des responsables de l'Institut géographique national (IGN), notamment Pierre Tardi et Jean-Jacques Levallois, ont compris quel parti on pouvait tirer de l'observation des positions des satellites artificiels pour les rattachements géodésiques intercontinentaux à grande distance. En effet, l'outil principal utilisé par les géodésiens pour établir des cartes précises était la triangulation. Cela nécessitait de déterminer des directions et des distances au sol entre des points en inter-visibilité, donc de l'ordre d'une quinzaine de kilomètres au plus. Le pays était ainsi couvert d'un réseau de triangles avec des incertitudes qui croissaient au fur et à mesure que le réseau s'étendait, même si les équations de fermeture permettaient de les contrôler. De toute façon, on ne pouvait pas rattacher de cette manière des régions séparées par des mers.

La possibilité de viser simultanément un point dans le ciel à partir de trois stations A, B et C, même éloignées, permettait de franchir des distances considérables. Avec les observations de deux positions différentes du satellite et si on connaît les coordonnées de A et de B, on déduit celles de C. Bien entendu, s'il y en a plus, on réduit les incertitudes liées aux erreurs des observations.

Il fallait aussi que le satellite fut assez brillant pour laisser une trace sur une plaque photographique avec en plus la marque d'un certain nombre d'étoiles de référence. Ce fut le satellite Echo-1 qui permit une telle réalisation ; Echo-1 fut lancé en 1960 par la NASA pour servir de transmetteur intercontinental des émissions de radio et de télévision que les États-Unis organisaient alors. Ce satellite était un ballon gonflable de 30 mètres de diamètre recouvert d'une très fine couche métallisée. Dans le ciel, ce satellite était plus brillant que toutes les



Le satellite Echo-1.

étoiles. Un deuxième satellite analogue, de 41 mètres d'envergure, Echo-2 fut lancé en janvier 1964. Des réductions astronomiques classiques des plaques photographiques permettaient alors de calculer la direction spatiale du satellite à l'instant désiré par rapport au champ d'étoiles.

C'est le principe adopté par l'IGN pour ses opérations de triangulation spatiale. Pour ce faire, des "chambres balistiques" ont été mises en œuvre. Elles permettaient de photographier la trajectoire d'un satellite de nuit sur fond d'étoiles, tout en repérant la position en des instants notés par un chronographe. Bien entendu, toutes les stations devaient être synchronisées à mieux qu'une milliseconde près.



La caméra balistique de l'IGN.

Après des essais sur le sol métropolitain, une première opération de rattachement s'est déroulée en mai-juin 1963 entre la France et l'Algérie qui avait déjà été rattachée à l'Europe via l'Espagne et l'Italie au XIX^e siècle, ce qui permettait une comparaison. Trois caméras étaient localisées en France à Agde, prise comme station origine, Lacanau et Oletta et deux à Hammaguir et Ourgla dans le Sud Algérien. L'échelle était donnée en supposant connue la distance Agde-Lacanau. Les calculs de réduction ont montré que l'erreur sur les distances au satellite était, en moyenne quadratique, de 16 mètres. Par rapport aux coordonnées anciennes, les différences ne dépassaient pas 15 mètres. L'ordre de grandeur des incertitudes de cette méthode était en fait seulement de la dizaine de mètres.

Une seconde opération de rattachement a été effectuée en juillet et août 1965 entre des stations en France, au Portugal et au Maroc d'une part, Madère et trois îles des Açores de l'autre.

► Cette fois, il n'y avait pas de rattachement de comparaison, mais les calculs ont montré que les incertitudes étaient du même ordre de grandeur. Une expérience de triangulation a aussi eu lieu dans le cadre d'une collaboration internationale avec les commissions est-ouest européennes. Enfin d'autres liaisons Europe-Afrique ou européennes avec les caméras balistiques de l'IGN ont été effectuées à partir de 1968 en utilisant un nouveau satellite de type Echo, le satellite Pageos lancé en 1966. Ce satellite passif de 30 mètres de diamètre fut placé sur une orbite polaire à 4000 km d'altitude pour réaliser de 1969 à 1973 une première triangulation véritablement mondiale sous la direction de la NASA avec une précision en principe de l'ordre de 5 mètres et si possible un peu mieux.

Les premières actions du CNES

Ce n'est qu'après une époque politiquement troublée, que les autorités françaises ont décidé de s'intéresser à l'espace. En effet, le climat de guerre froide et la politique d'indépendance du Général de Gaulle ont placé la recherche spatiale parmi les priorités du gouvernement. Ainsi, fut créé, en 1959, un Comité de recherches spatiales, présidé par André Danjon, directeur de l'Observatoire de Paris. En même temps, on a mis en place la SEREB (Société pour l'étude et la réalisation d'engins balistiques) qui était chargée d'étudier et de réaliser un lanceur de satellites, la fusée Diamant.

Mais un Comité n'était pas une structure suffisante pour coordonner et animer le programme spatial. Ainsi, le 19 décembre 1961, le Centre national d'études spatiales (CNES) était créé. Son objectif premier était de placer la France parmi les puissances spatiales, donc envoyer des satellites. Très vite, au sein du Comité de recherches spatiales, devenu le Conseil scientifique du CNES, la question s'est posée comment préparer une recherche scientifique à bord des satellites. Il fallait former des scientifiques "spatiaux" en leur donnant l'occasion de construire des appareils embarqués complexes, mais le lanceur Diamant ne pouvait pas emporter une grande masse. On ne voulait pas non plus lancer une charge qui ne ferait rien d'autre que d'émettre quelques bips. Notons que ce fut tout de même le cas pour le premier satellite lancé, A1 ou Astérix, et qui, d'ailleurs, ne fonctionna que deux jours !

Pour résoudre ce dilemme, on décida de construire une charge utile pour un lanceur américain. Ce fut FR1, un satellite de 60 kg qui mesurait les champs magnétique et électrique. Quant à la charge utile simple pour Diamant, un d'entre nous (J. Kovalevsky) proposa d'embarquer un émetteur simple à deux fréquences pour des expériences de géodésie par effet Doppler. Cette suggestion fut retenue et fut matérialisée par le satellite DIA ce qui a permis de faire la première liaison géodésique Nice-Beyrouth comme nous l'expliquons plus loin.

La géodésie par effet Doppler

Dès octobre 1957, des chercheurs américains de l'Université John Hopkins avaient réussi à déterminer l'orbite de Spoutnik d'après les enregistrements de décalage Doppler de son émission. Inversement, la géodésie par effet Doppler consiste à déterminer la position d'une station de réception

en connaissant l'orbite du satellite. Ce concept fut mis en œuvre par la NASA qui avait lancé en 1960 les premiers satellites de la série TRANSIT.

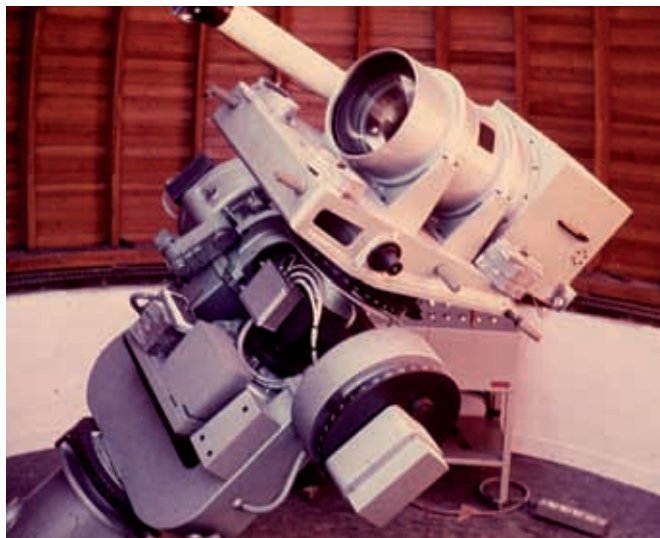
En préparation de l'expérience française, la SAT (Société anonyme des télécommunications) construisit deux récepteurs logés dans des semi-remorques. Une troisième station a été construite par le CNES. Le volume de ces stations était impressionnant en comparaison des petits récepteurs GPS d'aujourd'hui. Le satellite D1A, pesant 19 kg et surnommé Diapason, était lancé depuis Hammaguir le 17 février 1966. Il émettait sur 150 et 400 Mhz. Les premières observations étaient effectuées entre Hammaguir et des sites en France. Mais l'expérience scientifique proprement dite s'est déroulée en 1966 pendant quatre mois entre Nice et Beyrouth au Liban. Le satellite émettait sur commande pendant une durée D de 15 secondes. Les émissions du satellite étaient enregistrées, permettant la correction ionosphérique au premier ordre.

La mesure revient à déterminer la différence de distance du satellite entre le début et la fin de la durée D. Mais pour avoir les positions des stations, il faut calculer la trajectoire du satellite, c'est-à-dire disposer d'un modèle du champ de gravité de la Terre. À cette époque, on ne disposait que du modèle de la SAO (Smithsonian Astronomical Observatory), "Standard Earth" qui était loin d'avoir une précision suffisante. Si bien que les résultats avaient une dispersion pouvant atteindre 100 mètres, alors que la cohérence interne était de l'ordre de 10 mètres. C'était ce que l'on pouvait espérer de mieux avec des stations qui mesuraient la vitesse radiale à 5 ou 10 cm/s près. Il fallait également utiliser des développements analytiques de la mécanique du satellite qui avait aussi une précision limitée (théorie de Brouwer ou de Kozai). Les calculateurs électroniques disponibles dans le monde scientifique de l'époque avaient en effet une puissance trop limitée pour faire de l'intégration numérique. Plus tard, quand de meilleurs modèles furent disponibles, I. Stellmacher, du Bureau des longitudes, a pu réduire l'incertitude du positionnement à cette même valeur de l'ordre de 10 mètres. Une autre série de mesures, cette fois sur D1D, entre l'Observatoire de Haute Provence (OHP), Stéphanion en Grèce et Colomb-Béchar ont permis à J.-P. Chassaing du CNES de confirmer cette précision.

La conclusion de cette expérience était que l'objectif principal de la géodésie spatiale devait être la construction de modèles de champ de gravité terrestre de qualité, ce qui impliquait que des observations de satellites devaient être faites de partout sur Terre. Pour la France, il s'agissait d'abord d'y contribuer par des observations de plus en plus précises afin de se faire reconnaître sur le plan mondial, puis de tenter d'en calculer un nous-mêmes. C'est ce que nous allons raconter dans ce qui suit.

Les observations dans le domaine optique

Au cours de ces dix années 1960-1970, de nouvelles caméras, plus lumineuses ont été utilisées à l'Observatoire de Meudon. Après une première caméra K37 qui a été acquise et adaptée par Paul Muller principalement pour suivre le satellite Echo, celui-ci a entrepris de construire une grande chambre photographique, la "Caméra Antarès",



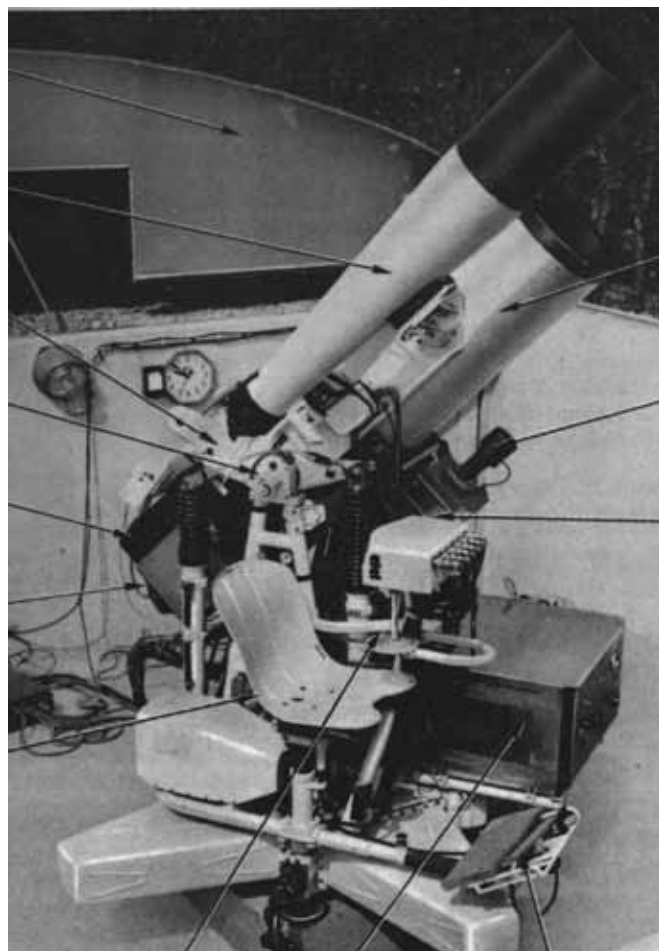
La caméra Antarès de Paul Muller installée à l'Observatoire de Nice.

ouverte à $f/3$ avec un diamètre de 30 cm qui sera installée à l'Observatoire de Nice. Cette caméra avait quatre axes, un des axes de poursuite permettant de fixer l'image du satellite par rapport à la plaque photographique sur laquelle s'impressionnait en même temps le champ d'étoiles. Ceci permettait de déterminer la position de satellites sur fond d'étoiles, même de faible magnitude apparente, contrairement aux caméras balistiques ou à la caméra K-37 qui ne pouvaient guère observer que des satellites de type Echo. La position de ce satellite pouvait être ainsi déterminée avec une précision de l'ordre de deux secondes de degré comme le réalisaient les grosses caméras américaines Baker-Nunn ou les caméras soviétiques AFU-75 et d'autres encore.

Notons ici que des satellites américains dédiés à la géodésie (ANNA et GEOS-B) avaient été lancés dans cette seconde moitié des années soixante ; ils émettaient des éclairs lumineux qui pouvaient être photographiés avec ces instruments mais aussi avec des télescopes de type Schmidt sans système particulier de poursuite du satellite. Ceci élargissait beaucoup le nombre de moyens photographiques utilisables car ils existaient déjà. La précision atteinte était aussi sensiblement meilleure car on pouvait disposer de points lumineux le long de la trajectoire du satellite, bien piqués sur la plaque photographique et facilement réparables par rapport au champ d'étoiles et il n'y avait pas les erreurs introduites par les imperfections du système de poursuite. Il n'était pas non plus nécessaire de disposer de moyens d'enregistrer le temps d'observation, l'instant des éclairs émis étant enregistré à bord du satellite. C'était un progrès certain donnant une précision de l'ordre de la seconde de degré, soit une erreur en position de l'ordre de cinq mètres pour un satellite orbitant à 1 000 km ; la notation de l'instant d'observation était meilleure que la milliseconde de temps dans une unique échelle internationale de temps. Dans la technique photographique classique, il n'était pas alors évident de relier entre eux les horloges des stations d'observations à une précision meilleure que la milliseconde. Il fallait faire des transports d'horloges relativement coûteux en avion. Un satellite parcourt en effet en moyenne sept mètres par milliseconde

démontrant toute l'importance de bien déterminer les temps dans une échelle absolue à cette précision. Un petit télescope de Schmidt fut acquis en France pour de telles observations. En conclusion on avait désormais la capacité de déterminer la position angulaire d'un satellite dans l'espace, de nuit, avec une précision comprise entre 5 et 10 mètres. Il manquait encore la distance entre la station d'observation et le satellite pour fixer de manière on peut dire absolue la position du satellite. Des systèmes radio de l'époque, type Secor, pour déterminer les distances avaient été décevants pour la géodésie en raison d'erreurs systématiques importantes et en fait d'un accès difficile.

Un progrès majeur dans la précision des observations fut lié à la mise en œuvre opérationnelle de la télémétrie laser. Il s'agissait de mesurer le temps de parcours aller et retour d'une impulsion laser émise au sol et réfléchiée par un satellite muni de coins de cube réfléchissants. Cela fut réalisé pour la première fois en octobre 1964 aux Etats-Unis puis, en France, en janvier 1965. Sous l'impulsion du CNES et de Jacques Blamont, une telle station fut construite à l'OHP avec R. Bivas et J. Gaignebet. Des observations furent effectuées à partir de janvier 1965 sur des satellites américains (Beacon B et C puis d'autres) avec entre 50 et 100 tirs réussis par passage. Une précision de l'ordre de un ou deux mètres avait été obtenue. C'était dix fois mieux que ce que l'on



Télémètre laser développé par R. Bivas du Service d'aéronomie du CNRS et installé à l'Observatoire de Haute Provence.

► pouvait obtenir avec une observation photographique pour situer le satellite le long de la trajectoire.

Au vu de ce succès, le CNES décidait que les satellites du type Diapason qui allaient suivre seraient munis de tels réflecteurs laser. Ce furent D1C et D1D, surnommés "Diadème" et lancés successivement les 8 et 17 février 1967. En même temps, une deuxième station a été construite par le CNES et une troisième par l'ONERA (Office national des recherches aéronautiques, devenues plus tard "aérospatiales"). Ce dernier a, par ailleurs, couplé les observations laser à des observations photographiques en ajoutant au télémètre une caméra qui devait photographier de nuit les satellites éclairés par le laser et obtenir ainsi des informations de direction en plus de la distance. Sur le plan technique, c'était magnifique et enthousiasmant. Cependant, bien que des résultats intéressants aient été obtenus, cette technique relativement lourde, n'a pu finalement apporter de contribution scientifique très importante tant la seule télémétrie laser se développait partout et faisait en même temps des progrès extrêmement rapides. Ainsi ces techniques photographiques furent très rapidement dépassées avant même d'être vraiment exploitées. Ces concepts ne seront pas repris par la suite. De façon générale, au bout de quelques années, la précision toujours croissante des techniques laser et Doppler finira par éliminer pratiquement toute la photographie comme technique de la géodésie spatiale sauf pour certaines applications bien spécifiques.

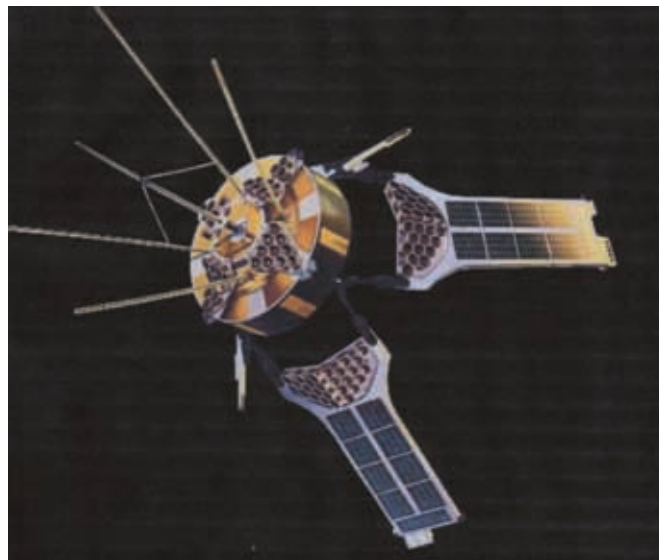
Plusieurs opérations multi techniques

Chaque technique, laser, radio ou photographie sur fond d'étoiles contribuait de façon très différente et les réunir en un même lieu ne pouvait qu'augmenter considérablement la précision du résultat. C'est ce qui a été préparé pour le lancement de D1C et D1D avec un soutien logistique et financier du CNES et une direction scientifique au sein d'une "Recherche coopérative sur programme" créée en février 1967 par le CNRS (RCP 133) et dont le responsable était J.-J. Levallois. Cette structure regroupait des équipes du Bureau des longitudes, du CNES, du Service d'aéronomie du CNRS, de l'IGN et de l'Observatoire de Paris. L'ONERA s'était joint au programme.

Il fallait un grand projet géodésique. Il y en eut plusieurs. Mais on ne pouvait pas les réaliser seuls et, comme preuve que la géodésie spatiale française commençait à être reconnue et appréciée, la NASA et le SAO joignirent leurs forces à ces projets. Il y avait aussi plusieurs objectifs et plusieurs campagnes se sont succédées dans les années 1957 à 1969, les résultats de l'une servant souvent à compléter les données recueillies par d'autres.

La première, la campagne "Diadème", fut organisée par le CNES et eut lieu en 1967, dès le lancement de D1C et D1D et avait pour principal objectif d'établir une triangulation précise au Nord de la Méditerranée. Le dispositif comprenait :

- En France, un télémètre laser, une station Doppler et un télescope de Schmidt à l'OHP et la caméra ANTARES à Nice,
- En Grèce, à Stephanion dans le Péloponnèse, le télémètre



Le satellite Diadème D1D du CNES.

laser du CNES et une station Doppler,

- En Espagne, à Sand Fernando, près de Cadix, une caméra Baker-Nunn du SAO,
- A Colomb-Béchar, une station Doppler.

Plus de 80 000 distances laser ont été obtenues et les trois stations étaient synchronisées par transport d'horloges. Si tous les satellites à réflecteurs laser étaient utilisés, la priorité était donnée aux satellites français. Les diverses réductions effectuées à partir des données de types différents ont abouti à des précisions de l'ordre de 10 mètres, limite due au Doppler et la photographie.

Il en résultait que pour tirer parti de la précision des télémètres laser, il fallait que les trois sommets du triangle en soient dotés. Tel fut l'objectif de la campagne RCP en 1968, sous la responsabilité scientifique d'un d'entre nous (F Barlier). Entre temps, la station CNES avait été transférée de Grèce à Cadix, alors que le SAO mettait un télémètre laser et une caméra Baker-Nunn à Dionysos, près d'Athènes. Les stations Doppler ne participaient plus. Les satellites observés étaient D1D ainsi que GEOS A et GEOS B dont les éclairs lumineux étaient photographiés en même temps par les caméras. Avec cette configuration, les incertitudes de positionnement des stations ont été réduites à 2 mètres.

Cela constituait une base solide pour une jonction Europe-Afrique par observation photographique de PAGEOS avec les caméras balistiques de l'IGN. Les observations eurent lieu en 1968 et 1969, toujours sous l'égide de la RCP 133 et permirent le rattachement de deux sites sur le 12° parallèle : Fort-Lamy et Dakar.

Au cours de la campagne RCP, diverses stations photographiques européennes ont pris des clichés simultanément aux observations laser et photographiques effectuées à San Fernando, à l'OHP et à Dionysos. Il s'agissait des stations de Nice et Meudon en France, Uzhgorod en URSS, Riga en Lettonie, Delft aux Pays-Bas, Zimmerwald en Suisse, Malvern en Angleterre et Helsinki en Finlande. La réduction géométrique des 2000 paires d'observations a donné une précision de l'ordre de 3 à 5 mètres sur chacune des coordonnées. Sauf



Observation du réseau géodésique européen à l'aide du satellite PAGEOS.

pour les stations de Riga et de Dionysos qui avaient peu d'observations, les résultats obtenus ont été totalement confirmés par une solution dynamique effectuée par la NASA. Les corrections correspondantes au système géodésique européen pouvaient atteindre 30 mètres et mettaient en évidence une erreur globale d'échelle de 8.10-6.

Géodésie dynamique

Le fondement de la géodésie dynamique est la détermination précise de la trajectoire des satellites artificiels dont les déformations sont dues aux irrégularités du champ de gravité terrestre et aux forces nongravitationnelles agissant sur le satellite. S'engager dans cette voie n'était pas seulement un problème d'accès à des observations réparties sur toute la Terre, mais il s'agissait avant tout de former des chercheurs et des ingénieurs à la théorie c'est-à-dire à la mécanique céleste. Au commencement, ce fut une longue série de séminaires au Bureau des longitudes à laquelle assistaient non seulement du personnel local mais aussi de l'Observatoire de Paris et les ingénieurs du CNES chargés de l'orbitographie des satellites, notamment des satellites français. Dans un premier temps, des travaux ont été effectués pour voir quels effets des forces en présence pouvaient être obtenus à partir de l'analyse des observations sur des arcs courts, comme les stations françaises pouvaient l'obtenir. On verra plus loin ce qui a pu être obtenu dans le domaine des forces non gravitationnelles. Un essai a été aussi tenté au Bureau des longitudes par M. Chapront-Touze à partir des observations laser de D1D au-dessus du Sahara. Elle a modélisé les anomalies locales de gravité par une masse enterrée à 500 km. Les résultats obtenus sont à la limite de la précision des mesures laser (1 mètre) mais c'était un début très important pour la communauté française. Il fallait faire beaucoup plus : autant des informations précises pouvaient être obtenues à partir des observations de satellites bas sur les forces nongravitationnelles, autant les effets gravitationnels, autres que séculaires dus aux premières harmoniques du potentiel terrestre étaient quasiment impossibles à

mettre en évidence. D'où découlait l'importance de pouvoir produire des données qui pouvaient servir d'échange avec les données américaines ayant une couverture mondiale.

En attendant, les équipes se formaient autour de nous au Bureau des longitudes et à l'Observatoire de Paris, et désormais aussi au CNES notamment autour de J.-C. Blaive, M. Lefebvre et J. L. Pieplu. Ces équipes allaient s'attaquer à des problèmes de plus en plus globaux par les méthodes de géodésie dynamique. Une étape fondamentale fut franchie en 1970 par la réalisation, au CNES d'un programme d'intégration numérique prenant en compte toutes les forces susceptibles d'agir sur un satellite : c'est le logiciel GIN toujours en usage, mais qui a subi bien sûr des modifications très importantes au cours du temps. Grâce au développement de la coopération internationale, on pouvait désormais avoir accès à des observations de satellites faites tout autour du monde et qui pouvaient être traitées par le logiciel GIN, ouvrant la voie à des études globales du champ de gravité terrestre et à la détermination de systèmes de référence géodésiques à caractère mondial.

L'étude des forces non gravitationnelles

Durant les années soixante, la poursuite systématique des observations visuelles et photographiques à l'Observatoire de Meudon avait fourni à l'un d'entre nous (F. Barlier) les éléments pour démarrer en France l'étude des forces nongravitationnelles agissant sur un satellite, principalement le frottement atmosphérique. Il y avait cependant aussi comme objet d'études la pression de radiation solaire directe ou rediffusée par la terre. Toutes ces forces constituent un élément perturbateur important dont il faut tenir compte pour connaître l'effet de la gravitation sur le mouvement des satellites. La précision des observations visuelles était notoirement insuffisante pour permettre une contribution à la détermination du champ de gravité global ou à l'établissement des réseaux géodésiques modernes. En revanche, ils pouvaient contribuer à notre connaissance des forces non gravitationnelles et par ce biais contribuer à notre connaissance de l'atmosphère supérieure de la Terre au-delà de 120 km et jusqu'à des altitudes de plusieurs milliers de kilomètres. L'information que l'on peut en déduire concerne la densité atmosphérique. Jointe à d'autres informations comme la température et, le cas échéant, à des informations sur les constituants majoritaires de l'atmosphère, elle permet de modéliser cette atmosphère supérieure. On peut prédire la composition chimique des principaux constituants devenant majoritaires en fonction de l'altitude, l'azote moléculaire, l'oxygène atomique, l'hélium ; on peut prédire aussi la température, la densité totale avec une précision de l'ordre de 15%, en fonction d'un certain nombre de paramètres : altitude, latitude et longitude, heure locale solaire, saisons et époque de l'année, activité solaire et géomagnétique. Elles ont abouti ultérieurement à des modèles DTM (Drag Temperature Model) toujours en usage mais ayant subi d'importantes améliorations. Ces travaux ont été possibles dans le cadre de coopération nationale avec des laboratoires comme le CNET à Issy-les-Moulineaux, le service d'aéronomie



du CNRS ou dans le cadre de coopération internationale avec le service d'aéronomie d'Uccle en Belgique et d'autres encore. Sur le plan des observations, une coopération originale et intéressante s'est développée avec plusieurs pays de l'Europe de l'Est de l'époque par exemple : la Hongrie avec Marton III, la Roumanie avec Alexandru Dinescu, la Pologne avec Janusz Zielinski, la Tchécoslovaquie avec Ladislav Sehnal, l'URSS avec Alla Mashevitch et Souriya Tatevian. Ces coopérations se firent aussi dans le cadre de réunions Intercosmos présidées par Alla Mashevitch. Plus tard, elle fut étendue aussi aux aspects géodésiques proprement dits comme le système géodésique européen et, plus tard, la liaison Arctique-Antarctique avec des caméras AFU-75 et des lasers et avec la campagne ISAGEX dont on parlera en conclusion.

Signalons que ceci nous mis en position de coopération très intéressante avec l'ONERA pour le développement de l'accélérométrie spatiale dans le cadre de l'expérience spatiale du CNES Castor-Cactus lancée en 1975. On a pu obtenir des informations originales sur la densité de l'atmosphère terrestre, la pression de radiation solaire directe et rediffusée par la terre, la pression due au rayonnement infrarouge de la terre. On sait aujourd'hui toute l'importance de l'accélérométrie spatiale avec encore très récemment le lancement du satellite géodésique européen GOCE pour la mesure du gradient de la gravité terrestre.

Le Groupe de recherche de géodésie spatiale (GRGS)

En 1970, la géodésie spatiale française avait atteint une diversification et une qualification reconnues dans le monde entier. Le problème était qu'elle était faite par cinq ou six équipes appartenant toutes à des organismes différents. La RCP 133 avait montré qu'une coordination entre elles était possible, mais cette structure CNRS était dans sa conception éphémère et n'engageait pas les établissements sur le long terme.

C'est ainsi que, le 17 février 1971, les directeurs des quatre établissements suivants : le Bureau des longitudes, le Centre national d'études spatiales (CNES), l'Institut géographique national (IGN), l'Observatoire de Paris signaient solennellement un accord créant le Groupe de recherches de géodésie spatiale. Dans ce document, ils s'engageaient à participer aux divers projets de géodésie spatiale par l'affectation d'équipes dont la composition fut, par la suite, l'objet de décisions de chacun des établissements. Ceux-ci se constituaient en Comité directeur. Un directeur (J. Kovalevsky) et un secrétaire administratif (J. Villecroze de l'IGN) furent nommés, ainsi qu'un conseil scientifique. Bien que basé sur un accord amiable en principe renouvelable annuellement, sans structure administrative officielle, le GRGS fêtera l'année prochaine 2011 ses 40 ans. Pendant tout ce temps-là, la géodésie spatiale française s'est développée dans et autour du GRGS.

Conclusion

La création du GRGS marque la fin de la période de gestation de la géodésie spatiale française. Désormais, mondialement reconnue, elle pouvait se lancer dans des projets de grande

envergure. Dès 1970, le CNES imaginait une grande campagne mondiale d'observation des satellites artificiels. Ce fut ISAGEX (International SATellite Geodesy EXperiment) qui s'est déroulé en 1972 sous la direction effective de Gérard Brachet. Une quinzaine de pays y participaient dont les Etats-Unis et l'URSS, gageure extraordinaire en ces temps de guerre froide !

L'autre grande réalisation préparée dès avant 1971, mais qui a beaucoup profité, entre autres des observations d'ISAGEX, est la réalisation d'un premier modèle global de champ de gravité qui était publié en 1976, GRIM 1 (GR emprunté à GRGS, IM emprunté à Institut de Munich). C'était le premier modèle non américain de potentiel terrestre construit dans une collaboration entre le GRGS avec G. Balmino et la DGFI à Munich avec Ch. Reigber. ●

Contacts

Jean Kovalevsky
jean.kovalevsky@obs-azur.fr

François Barlier
francois.barlier@obs-azur.fr

Astronomes émérites à l'Observatoire de la Côte d'Azur

Remerciements

Nous remercions Georges Balmino, Claude Boucher et Jean-Louis Heudier pour l'aide apportée à l'occasion de discussions et pour la fourniture de photographies.

Bibliographie

François Barlier et Michel Lefebvre *A new look at planet Earth: Satellite geodesy and geosciences* dans "The Century of Space Sciences", J. Bleeker, J. Geiss, M. Huber, eds. Kluwer Academic Publishers, Pays-Bas, 2001. pp. 1623-1651".

Michel Lefebvre et François Barlier "En attendant GALILEO. La Terre mesurée depuis l'Espace : de DIAPASON (1966) à JASON (2001), la contribution française", revue technique de l'Institut français de navigation trimestrielle, vol. 51, N° 202, avril 2003, pp. 35-83.

Jean-Jacques Levallois "Mesurer la terre, 300 ans de géodésie française, de la toise du Châtelet au satellite", Presses des Ponts et Chaussées, 389 pages, 1988.

ABSTRACT

Space geodesy started in France since the launch of the first Sputnik. The positions of satellites were obtained first with theodolites, then with more and more sophisticated cameras. Simultaneously, instruments based on new methods of observation (Doppler receivers and laser telemetry) were built while three geodetic satellites (D1A, D1C, and D1D) were launched by the French space agency (CNES). Many geodetic campaigns were performed by stations in Europe and Africa in the years between 1962 and 1969, involving increasing international cooperation, while the computational and theoretical aspects were developed in several Institutes. In 1971, a unified organisation (GRGS), with teams of several institutes, was established, as a recognition of space geodesy as an important domain in French science.