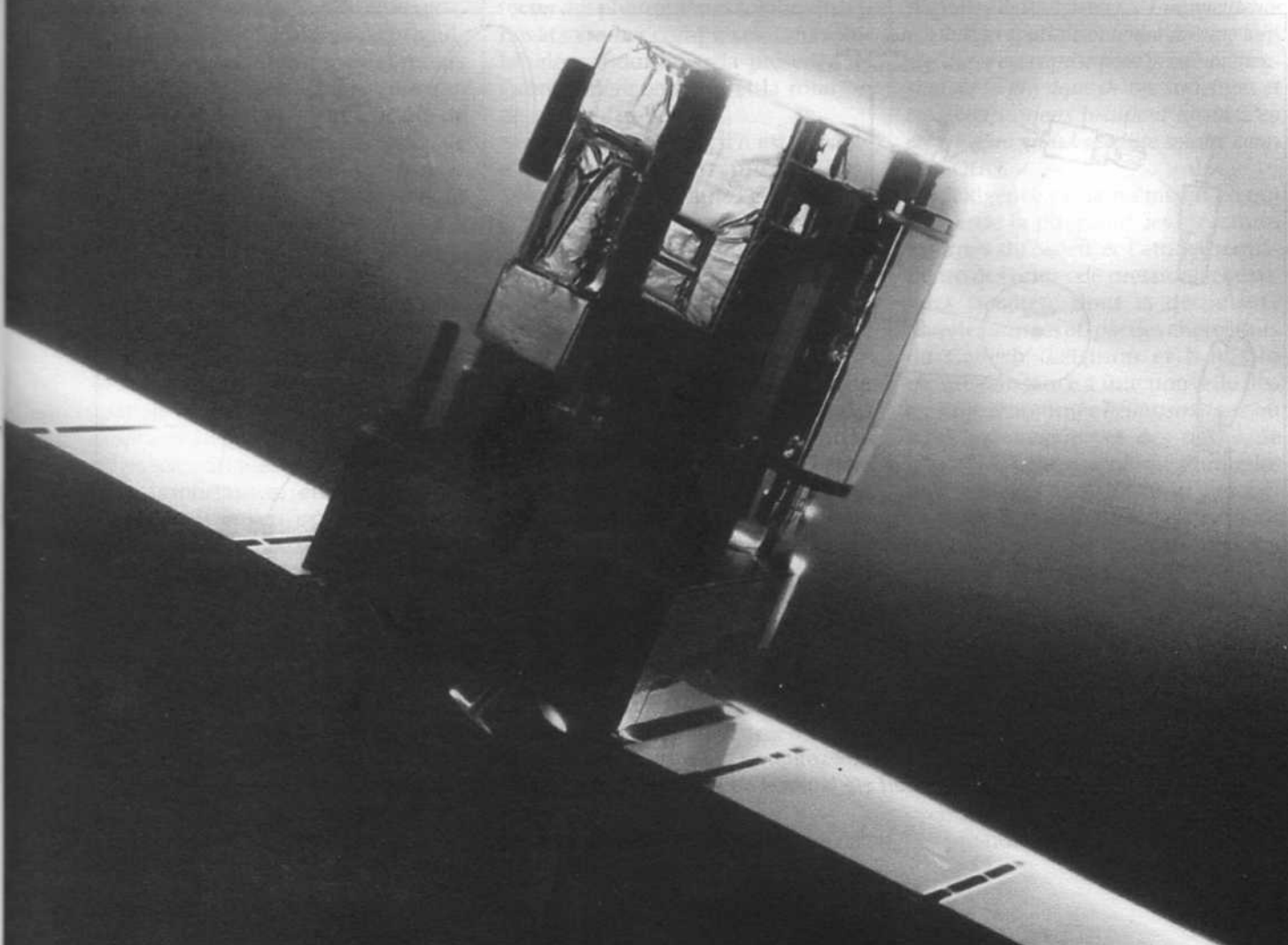


Le Soleil a rendez-vous avec SOHO

PHILIPPE JAMET

En cours de transfert vers une zone de stabilité située sur l'axe Terre-Soleil, SOHO, satellite parmi les plus sophistiqués construits à ce jour, ne vise rien moins qu'à percer, dès ce mois de mars, le secret des phénomènes étranges qui affectent le cœur de notre étoile et l'environnement périphérique de celle-ci.



Aquelque 149 millions de kilomètres de la Terre, le Soleil nous offre l'opportunité d'observer « à portée de télescope » un type de « chaudron stellaire » à fusion thermonucléaire relativement courant dans notre Galaxie. Mieux connaître le Soleil n'est pas seulement important pour notre planète — son rôle pour la vie sur Terre n'est plus à souligner — mais également parce que cette connaissance nous apportera, par analogie, une meilleure compréhension de ce qui se passe au cœur et autour d'étoiles similaires. Les spécialistes de physique solaire et stellaire n'ont jamais manqué une occasion de profiter des techniques spatiales, en embarquant sur des sondes ou des satellites des instruments de plus en plus complexes, réalisés la plupart du temps en coopération internationale. Malgré les progrès technologiques qui ont bouleversé, depuis deux décennies, les méthodes des plus grands observatoires terrestres, il reste difficile d'étudier correctement et avec le temps nécessaire ce qui se passe au cœur et à la périphérie de notre étoile. Il en est de même de l'environnement du Soleil qui peut se révéler très

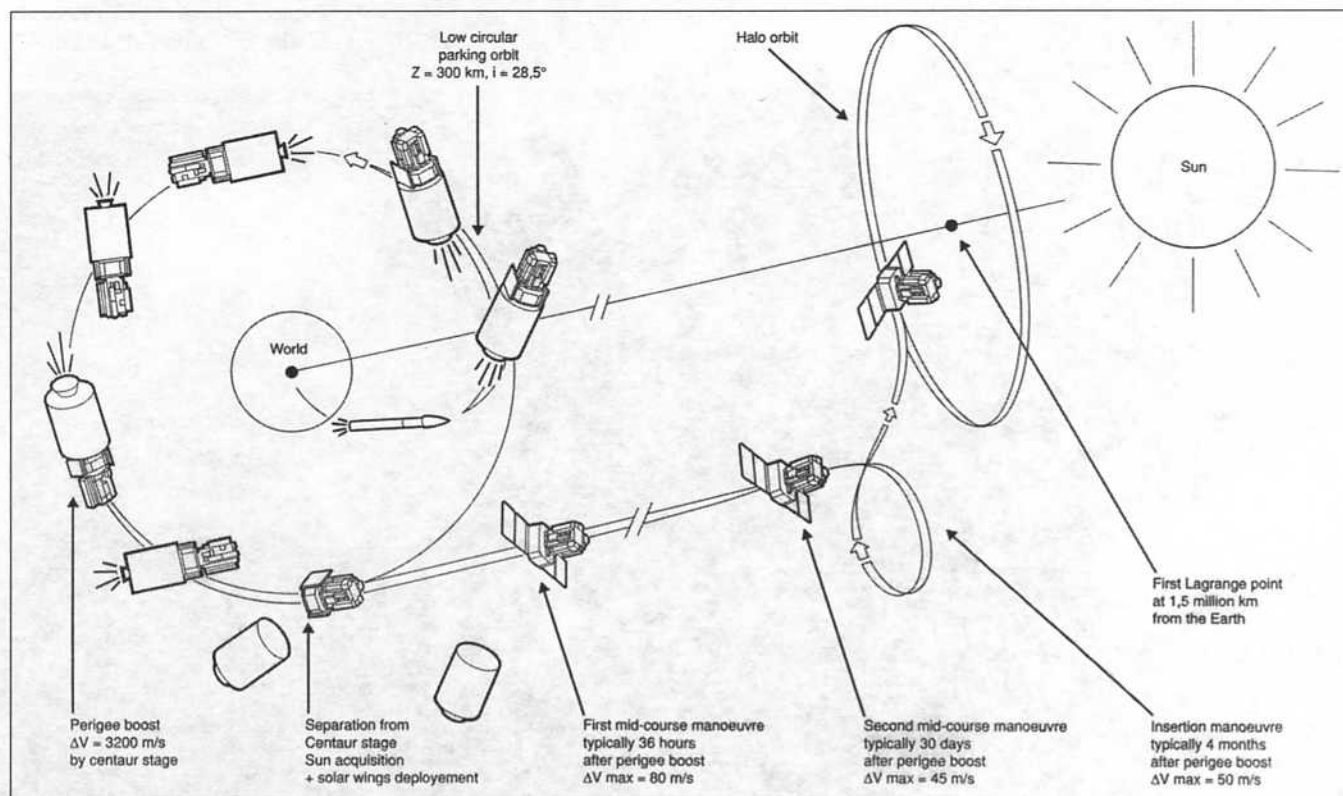
vaste puisque certains phénomènes — par exemple, les *vents solaires* — se font ressentir jusqu'au niveau des planètes gazeuses éloignées comme Uranus et Neptune... Ainsi, il est préférable, pour modéliser correctement, de disposer de capteurs opérant pratiquement « in situ ».

Ceci explique pourquoi d'ambitieuses missions d'observation du Soleil sur toutes les longueurs d'onde ont été organisées soit dans le cadre de missions habitées (Apollo Telescope Mount de la défunte station Skylab, stations Salyout, mission navette Spacelab 2 en 1985) soit en faisant appel à des sondes automatiques (les sondes germano-américaines Helios, le satellite japonais Solar-A, le satellite américain ISSE-3 lancé en 1978 sur cette fameuse orbite de Halo, ou le satellite SMM). La plus célèbre des missions est sans aucun doute celle du satellite Solar Maximum Mission (SMM), qui fut, en avril 1984, récupéré et réparé dans l'espace par les astronautes Nelson et Van Hoften, alors qu'il était défaillant et animé de mouvements de rotation intempestifs.

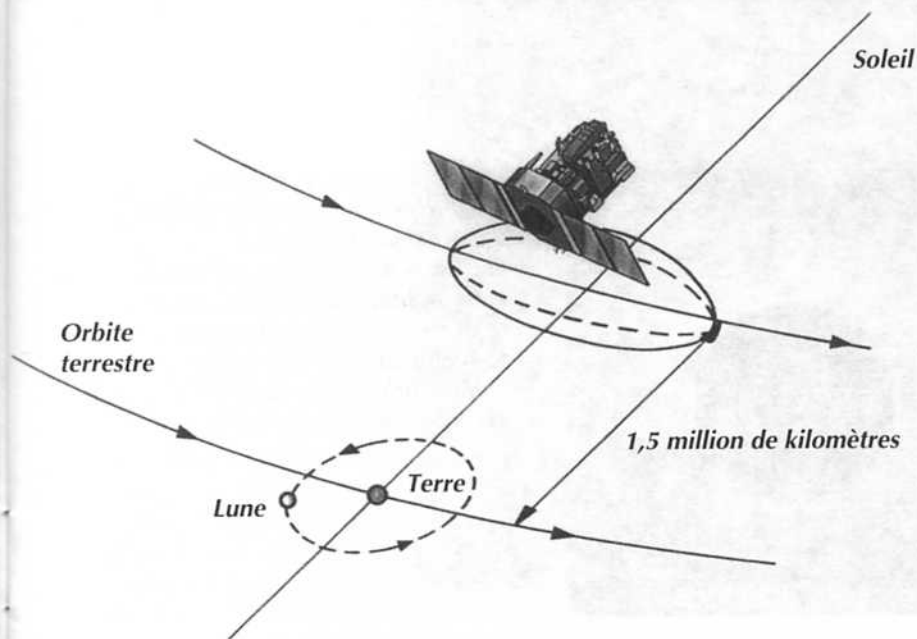
Mais les années 90 peuvent être considérées comme un « tournant »

dans la déjà riche saga historique de l'astrophysique spatiale solaire. Nous pensons particulièrement à Ulysse, la sonde polaire de l'ESA mise à poste par la navette en 1990 et en cours de mission pluridisciplinaire, après avoir, de juin 1994 à septembre 1995, survolé les deux pôles du Soleil (voir *Fusion*, mai-juin 1994, N°51). N'oublions pas non plus le satellite japonais de l'ISAS, Yokkoh. Lancé en 1990 et prévu pour fonctionner au maximum deux ans, ce satellite continue à nous envoyer des informations sur le Soleil puisque, à la stupéfaction de ses concepteurs, ses systèmes de transmission et ses instruments sont encore en état de marche ! Souhaitons évidemment la même longévité au tout dernier satellite solaire européen SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), lancé le 2 décembre dernier par une fusée américaine Atlas-2AS. D'ailleurs, les laboratoires d'astrophysique d'outre-Atlantique participent pour environ un tiers de la charge utile scientifique totale.

Selon le Docteur Art Poland de la NASA, « *SOHO devrait largement pouvoir assurer ses spécifications en matière de durée de fonctionnement sur son orbite particulière. En effet, il a été conçu*



Transfert de SOHO en orbite. Une orbite exotique a été choisie afin de ne pas pénaliser la capacité d'emport en charge utile scientifique, ce qui aurait été le cas si un système de motorisation plus puissant et presque direct avait été préféré.



L'orbite de halo.
Centrée autour d'un point d'équilibre dit L1 et situé à 1,5 million de kilomètres, l'orbite de halo sur laquelle opérera SOHO permettra au satellite européen de traquer les mystères solaires.

avec des systèmes optiques très peu dégradants, faisant appel à des matériaux exotiques ayant bénéficié de la technique du superpolissage informatique. De plus, de nombreux systèmes d'intelligence artificielle redondants y ont été intégrés ». En fait, si tout se passe bien, SOHO pourrait assurer sa fonction pendant vingt ans sur son orbite de halo, alors qu'à l'origine, il était conçu par son maître d'œuvre Matra Marconi Space pour durer six ans. Il faut inclure évidemment la durée du transfert du satellite vers son orbite, empruntant une trajectoire atypique en forme de « poignées de ciseaux ». Les limites des techniques de propulsion classique ont imposé pas moins de cinq corrections de trajectoire successives car le choix d'une orbite de transfert directe aurait nécessité de grandes quantités de carburant et de fluide propulsif, réduisant par là même la charge utile scientifique à quelques dizaines de kilos seulement. Ainsi, SOHO peut emporter douze instruments principaux, moyennant un poids de 650 kilos. A l'avenir, de petits remorqueurs nucléo-électriques — amarrés, par exemple, à la station spatiale internationale — pourraient emporter au point requis des charges utiles scientifiques considérablement plus importantes, embarquées au préalable jusqu'en orbite basse par un vaisseau de type navette automatique. Cette approche sera nécessaire si l'on veut éviter ces manœuvres complexes et non sans risques.

Normalement, dès la fin mars 1996, après avoir parcouru 1,5 million de kilomètres, que SOHO parviendra sur une orbite elliptique définitive de 600.000 km-200.000 km, centrée autour d'un Point de Lagrange L₁ situé sur l'axe Terre-Soleil. Ce point constitue le centre d'une zone d'équi-

libre, précisément à l'endroit où les attractions respectives de notre étoile et de notre planète s'annulent, et bien sûr à une distance plus proche de la Terre que du Soleil en raison de l'énorme disproportion des masses (la masse du Soleil est de 1989.10^{30} tonnes, soit 330.000 fois celle de la Terre). Cette singulière orbite elliptique représente aussi la réalisation d'un rêve partagé, depuis des décennies, par la majorité des astrophysiciens : disposer — 24 heures sur 24 et pendant des années ! — d'un observatoire solaire pouvant scruter et détecter des phénomènes solaires internes et externes complexes, sans subir les aléas induits par la présence de l'atmosphère terrestre et la rotation de notre planète.

A partir de la Terre, il n'est possible d'observer certains phénomènes (comme, par exemple, ceux qui se produisent au niveau de la couche supérieure de l'atmosphère solaire, c'est-à-dire la couronne), que lors de très rares éclipses totales. Celle qui eut lieu en juillet 1991 a permis aux équipes du Télescope Canada-France-Hawaii de mettre à la disposition de la communauté scientifique des données d'une qualité exceptionnelle. Encore faut-il, dans ce cas, compléter ces observations au moyen d'instruments de spectroscopie X ou EUV (ultraviolet extrême) placés sur des avions en haute altitude ou des fusées, et même sur des satellites en orbite autour de la Terre, équipés par exemple de coronographes. Toutefois, ces méthodes ne permettent que des réponses partielles aux modèles explicatifs de certaines structures typiques de cette couronne : on pense notamment aux jets coronaux, dont l'étendue en latitude par rapport à l'équateur solaire est liée au cycle

d'activité du Soleil et à d'autres structures (par exemple, arches, boucles coronales ou flux d'écoulement de plasma poussés et structurés par des champs magnétiques). La formation, la modification et la pérennité de ces structures semblent dépendre, selon Serge Koutchmy de l'Institut d'Astrophysique, de phénomènes dynamiques permanents se produisant à petite échelle et d'instabilités soudaines s'effectuant sur une large échelle... Comme le déclarait ce même chercheur lors d'une réunion préparatoire à SOHO organisée en 1992, à Annapolis (Etats-Unis) : « Une meilleure résolution spatiale obtenue sur une longue durée est requise pour la compréhension de la physique de ces structures et ces spécifications justifient la mise en œuvre d'un grand satellite solaire comme SOHO. »

L'exigence est la même en ce qui concerne la physique des structures internes du Soleil et l'étude permanente des ondes de pression acoustiques (sonores), dont la découverte dans les années 60 par des chercheurs du Caltech (Leighton et Noyes) a donné naissance à une nouvelle discipline dénommée héliosismologie ou sismologie solaire et des ondes de gravité. L'héliosismologie étudie les mouvements ascendants et descendants de ces ondes, qui proviennent probablement de la zone dite de « convection » (située à 200.000 km en dessous de la surface). Ces mouvements se répercutent alternativement, dans un sens puis dans l'autre, sur le mouvement des gaz, comme on a pu le constater avec la modification de leurs raies spectrales traduisant ces mouvements.

Si l'on sait qu'il faut également prendre en compte, pour expliquer ces phénomènes, de la structure in-

