

Bulletin de l'Association des anciens et des amis du CNRS n°48

Auteur(s) : CNRS

Les folios

En passant la souris sur une vignette, le titre de l'image apparaît.

61 Fichier(s)

Les relations du document

Ce document n'a pas de relation indiquée avec un autre document du projet.□

Citer cette page

CNRS, Bulletin de l'Association des anciens et des amis du CNRS n°48, 2008-06

Valérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Consulté le 15/12/2025 sur la plate-forme EMAN :

<https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/204>

Présentation

Date(s)2008-06

Mentions légalesFiche : Comité pour l'histoire du CNRS ; projet EMAN Thalim (CNRS-ENS-Sorbonne nouvelle). Licence Creative Commons Attribution - Partage à l'Identique 3.0 (CC BY-SA 3.0 FR).

Editeur de la ficheValérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Information générales

LangueFrançais

CollationA4

Informations éditoriales

N° ISSN1268-1709

Description & Analyse

Nombre de pages61

Notice créée par [Valérie Burgos](#) Notice créée le 05/10/2023 Dernière modification le 09/10/2024

RAYONNEMENT DU



Bulletin de l'association des anciens et amis du NRS

JUIN 2008 - N°48



L'avènement de l'ère spatiale

Sommaire

L'avènement de l'ère spatiale

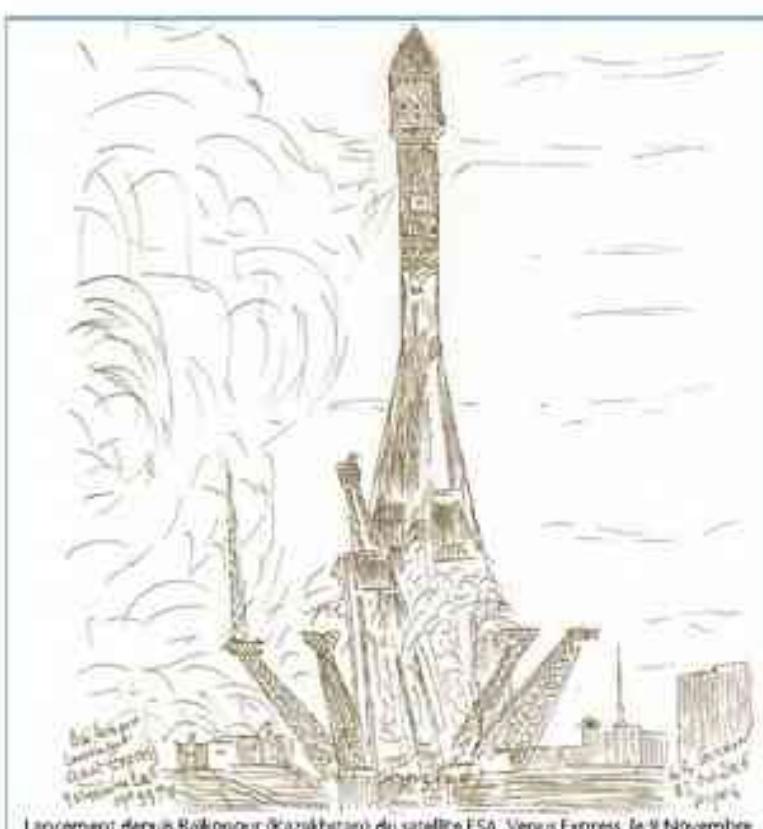
Coordinateur : Robert Kandel

Dossier scientifique

Editorial par Edmond Lisse <i>The Space Age: abstracts</i>	3
Les débuts de l'ère spatiale par Robert Kandel	5
Cinquante ans d'espace. Et après ? par Roger-Maurice Bonnet	15
Origines et principes de la politique spatiale de la France par Jacques Blamont	24
L'observation spatiale de la Terre solide et de ses enveloppes fluides par Anne Cazenave	33
Glossaire	41
Présentation des auteurs	42

La vie de l'Association

Régions	
• Ile-de-France par Hélène Chamassé	43
• Limousin par Antoine Trémolières	44
• Languedoc-Roussillon par Françoise Plénat	46
• Provence Alpes Côte-d'Azur par Huguette Lafont et Delphine Bonsignour	46
Voyages	
• Bavière et Tyrol	51
• Iles Féroé, Shetland et Islande	54
• Les volcans d'Islande : une dorsale sous-marine émergée. Conférence de Jean-Joseph Blanc	56
• Programme voyages 2008 - 2009	58
Informations	
• Nouveaux adhérents	59
• Ouvrages	60
• Fonctions à pourvoir	60
• Décès	60



Lancement depuis Baikonour (Kazakhstan) du satellite ESA, Venus Express, le 9 Novembre 2005 à 09h33 TU, par une fusée russe Soyouz équipée d'un quatrième étage Fregat. Dessin à la plume de Gilbert Souchon, Service d'aéronomie du CNRS. Inversion autour de Vénus le 11 Avril 2006 à 09h17 TU.

Launch by a Russian Soyuz rocket (with a Fregat 4th stage) of ESA's Venus Express from Baikonur (Kazakhstan), 9 November 2005 at 09h33 UT. Drawing by Gilbert Souchon, research engineer at the Service d'Aéronomie du CNRS. The satellite was placed in orbit around Venus on 11 April 2006 at 09h17 UT.

Editorial

Le 4 octobre 1957, l'Union soviétique lançait Spoutnik, le premier satellite artificiel de la terre. Notre Association a voulu, cinquante ans après, consacrer un numéro de notre Revue à cet événement, à ce qu'il représente dans l'histoire de la science et à son impact sur la société.

L'idée de ce numéro vient de Robert KANDEL qui a accepté d'en prendre la direction : à lui et aux auteurs qu'il a associés à cette entreprise, nous adressons nos plus vifs remerciements. Chacun a été étroitement et longuement impliqué dans l'aventure spatiale, en France et à l'étranger, chaque fois dans une étape décisive. Ce sont des acteurs, qui viennent aujourd'hui témoigner. La première conclusion qui ressort de leurs témoignages est que l'aventure spatiale est d'abord une opération scientifique internationale. Le fait que le « chef de projet » de ce numéro soit un Américain, directeur de recherche émérite du CNRS, ayant fait carrière en France, est une illustration vivante de cette réalité incontournable : la science est internationale, sinon elle ne saurait être d'excellence.

Chacun des auteurs apporte son éclairage personnel à cette aventure du dernier demi-siècle.

Robert Kandel rappelle les prémisses de l'exploration de l'espace, depuis Copernic (1543) et Newton (1687), puis évoque les travaux théoriques et expérimentaux (fusées) de Russes, Kibaltchitch (1881) et Tsiolkovski (1903), d'un Américain, Goddard (1882-1945), d'Allemands, Hermann Oberth (1894-1989) et surtout Werner von Braun (1912-1977) le père des V2 et du futur programme spatial américain.

Roger-Maurice Bonnet s'attache au rôle de la France et de l'Europe, en rappelant que c'est le Général de Gaulle qui prit la décision en 1962 de créer le Centre national d'études spatiales (CNES) qui a permis à la France de devenir le chef de file de l'espace en Europe. À Genève était créée L'ESRO (European Space Research Organization), devenue en 1974 l'Agence spatiale européenne (ESA). « Forte de 17 Etats-membres, l'ESA constitue un cas unique de coopération entre des pays de langues différentes, à l'histoire mouvementée et de capacités diverses et complémentaires ». R.-M. Bonnet poursuit en rappelant combien les satellites ont renouvelé notre connaissance de l'univers : « Le modèle standard de l'Univers se trouve ainsi sérieusement chahuté : son expansion s'est accélérée il y a environ 8 milliards d'années, phénomène dont on rend responsable une 'énergie noire' de nature inconnue ». Il termine sa présentation par un vibrant plaidoyer pour protéger notre Terre : « Nous sommes liés à la Terre. Elle est la seule « station spatiale » capable d'abriter et de nourrir plus de onze milliards d'astronautes ! ».

Jacques Blamont rappelle lui aussi le rôle fondamental des scientifiques et des ingénieurs allemands dans la mise au point des lanceurs à grande puissance V2, et comment cet acquis fut repris et développé par des scientifiques. Lui aussi souligne le rôle clef du Général de Gaulle qui dès 1958 avait donné une forte impulsion à la recherche scientifique. Grâce aux succès des fusées-sondes Véronique en 1959, qui permettaient une meilleure connaissance de la haute atmosphère, une collaboration avec la NASA put être lancée dès 1961, comportant l'accueil de techniciens français dans les centres spatiaux de la NASA et le lancement de satellites français par l'Agence spatiale américaine. En France même, l'amélioration constante des fusées-sondes, de Véronique à Saphir et à Diamant, parallèlement à la mise au point de la bombe nucléaire française, allait conduire au développement de lanceurs beaucoup plus puissants, donnant ainsi naissance à la famille Ariane. Blamont qualifie cette évolution « d'extraordinaire double retournement : en France, l'espace, entièrement militaire en 1962, est tombé entre les mains du civil CNES, tuteur de l'industrie des satellites, développeur de lanceurs, possesseur d'un réseau de poursuite et d'un champ de tir.... (ce qui) a fait de la France le moteur spatial de l'Europe ».

Anny Cazenave met en évidence les nouvelles percées scientifiques permises par les satellites d'observation de la terre : l'étude des variations géographiques du champ de gravité terrestre grâce à l'analyse des déformations d'orbite d'un grand nombre de satellites. Applications de l'altimétrie spatiale à l'étude de la topographie sous-marine, à l'étude des courants marins, à la hausse du niveau des océans sous l'effet du réchauffement de la planète, à l'étude des perturbations climatiques à grande échelle du système océan-atmosphère, tel le phénomène El Niño.

EDITORIAL

De l'ensemble de ces contributions se dégage une deuxième conclusion – après celle de l'absolute nécessité d'une coopération internationale pour faire progresser les connaissances. Il faut que les pouvoirs publics et surtout les hommes d'Etat qui nous gouvernent aient une vision scientifique à long terme et la volonté politique de la mettre en œuvre. 1957 est l'année du lancement de Spoutnik, 1958 est celle du lancement d'une politique « gaullienne » de la science dont les retombées sont le nucléaire et l'espace. 2008 sera-t-elle celle d'une nouvelle « ardente obligation » en faveur de la science ?

Edmond A. Lisle

THE SPACE AGE : ABSTRACTS

This issue appears a little more than 50 years after the launch of Sputnik-1, the first artificial satellite of our planet. The authors, witnesses and actors of the first half-century of human activities in space, give personal assessments of some highlights of those activities. Practically from the beginning, the scientific and technical communities of France have played a major role in international space research, with important contributions by CNRS personnel. France is today one of the world's leading actors in space scientific research, on its own, in the framework of the European Space Agency, and in bilateral cooperation not only with the United States and the Russian Federation, but also with India, Japan, and other countries.

The beginning of the space age is usually taken as October 4, 1957, when Sputnik-1 was successfully launched. In his article, Robert Kandel provides some aspects of the historical background from Copernicus and Newton to Tsiolkovsky, and the twentieth-century milestones on the road to Sputnik. As he notes, what might have been just another aspect of scientific research in the context of the International Geophysical Year, became a front-page story with enormous impact on world public opinion and on the subsequent course of the arms race between the U.S. and the U.S.S.R. Kandel concludes with a note on his personal implication in the use of instruments on artificial satellites to measure the Earth's radiation balance, a fundamental aspect of climate research.

Roger Maurice Bonnet, Director of the International Space Science Institute and former Director of Scientific Programmes at the European Space Agency, provides a general review of space research over the 50 years since Sputnik, in particular with the development of international scientific cooperation against the background of Soviet-U.S. competition, and with the growth and maturation of European space research. He also bears witness to his personal experience and contribution to the first observations of our Sun from space. After presenting some of the highlights of space observations – of the Earth and other planets, of the stars and the universe, he concludes with a discussion of what should be our priorities for the next 50 years of the space age.

Jacques Blamont, who played a leading role in the development of space research in France and in the active cooperation between France and the United States on the one hand, between France and the Soviet Union on the other, presents an eyewitness history of how space policy developed in France. His story begins with the liberation of France from German occupation, continues (after several dozen V-2 impacts in France in fall 1944) with the first French rocket experiments in the 1950s, and then describes in some detail how, with the support of President Charles de Gaulle, the decision was taken to move ahead at full speed into the space age, establishing a national space agency (Centre National d'Etudes Spatiales) while maintaining and encouraging scientific research using space at CNRS and university laboratories.

Anny Cazenave, a pioneer in space geodesy and director of the Laboratory for Research in Space Geophysics and Oceanography (LEGOS) in Toulouse, shows how, thanks to the use of artificial satellites as test probes of the Earth's gravitational field, together with space altimetry, it has been possible to determine seafloor topography and to measure continental drift and sea-level rise, and even seasonal fluctuations of ground water, an important and until recently very poorly known component of the water cycle.

R. K.

Les débuts de l'ère spatiale

par Robert Kandel



Avant-propos

Pour la plupart, nous lecteurs et rédacteurs de ce Bulletin appartenons à la génération qui a vécu, certains comme acteurs, tous comme spectateurs, la révolution spatiale. Nos enfants et petits-enfants ne voient rien de remarquable dans les images de la Terre lorsqu'on présente la météorologie à la télévision : nous sommes tous devenus des cosmonautes. Et, bien sûr, pour beaucoup d'entre nous qui avons travaillé dans la recherche, le développement de l'outil spatial et ses nouvelles possibilités ont joué un rôle déterminant dans notre vie professionnelle. C'est pour cela qu'il nous a semblé important de préparer ce numéro du Bulletin, pour présenter certains aspects de cette révolution dans les activités de recherche au CNRS et plus généralement en France, en Europe, et dans le monde.

4 octobre 1957 : Sputnik-1

L'ère spatiale commence le 4 octobre 1957, à 19 heures 28 temps universel (22 heures 28 à l'heure de Moscou), avec le lancement par l'Union Soviétique de Sputnik, premier satellite artificiel de la planète Terre (Figs. 1 et 2). A l'Observatoire de Harvard (Cambridge, Massachusetts, USA), où je travaillais avec d'autres étudiants et chercheurs, la nouvelle est arrivée dans la soirée, et nous avons passé le reste de la nuit à discuter des implications de cet exploit pour l'avenir de la science, aux Etats-Unis comme ailleurs.



Fig. 1 - Préparation de Sputnik-1 (photo I.P. Kicolev RSC Energia, Miran)

Preparation of Sputnik-1

Cet exploit n'aurait pas dû surprendre. A partir de 1950, en préparant leurs contributions à l'Année géophysique Internationale (AGI de 1957-1958), les scientifiques américains comme soviétiques avaient

bien prévu, en plus des bases scientifiques en Antarctique et ailleurs, en plus de campagnes de mesures au sol, en mer, et dans les airs, d'embarquer des instruments d'observation de la Terre sur des satelli-



Fig. 2 - Sputnik-1 expliqué à Moscou
Explaining Sputnik-1 to the Moscow public

LES DÉBUTS DE L'ÈRE SPATIALE

lites artificiels. A l'observatoire Harvard-Smithsonian, on avait commencé à mettre en place un système pour collecter les données et les analyser, mais les télescopiques n'étaient pas encore installés le 4 octobre. Dans la bousculade des semaines qui ont suivi, nous avons reçu des observations venant d'astronomes professionnels et amateurs du monde entier. Les programmes de calcul n'étaient pas encore au point, et je me souviens qu'une des orbites calculées passait en partie sous terre !

L'analyse de l'orbite de Spoutnik et de la propagation de ses signaux radioélectriques a bien donné quelques résultats scientifiques, mais cela comptait peu à côté de l'impact psychologique énorme de cet astre brillant traversant le ciel d'ouest en est, de ce bip-bip relayé par les radios dans tous les pays du monde (fig. 3). Ce qui a surpris, ce qui a choqué les Américains, était de découvrir que les pionniers de l'espace étaient Soviétiques et non Américains. Et partout dans le monde, beaucoup

d'observateurs affirmaient que cet exploit démontrait la supériorité du système communiste dans la marche vers l'avenir. Aux États-Unis, le Congrès trouve rapidement des crédits pour l'enseignement des sciences, pour des bourses, et pour la recherche. Et il devient urgent – au moins pour la fierté nationale sinon pour la sécurité du pays – de mettre en orbite des satellites américains. Spoutnik a donné le signal de départ de la course spatiale. Mais comment était-on arrivé là ?



24 mai 1543 : Copernic

En un sens, l'ère spatiale commence le 24 mai 1543, quand Copernic reçoit sur son lit de mort la première édition de son opus *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. Cet ouvrage déloge la Terre du centre de l'univers pour la reléguer, planète parmi d'autres, en orbite autour du Soleil. Avec cet ouvrage, compilé par les grands astronomes de l'époque, commence la révolution de l'astronomie et de la physique. Avec la Terre désormais une planète parmi d'autres, on peut imaginer que les autres planètes sont d'autres mondes, comme le nôtre. Avec, à la place de la cosmologie géocentrique où la Terre était d'essence différente du reste de l'univers, le nouveau système du monde organisé autour du Soleil, on peut imaginer le voyage vers la Lune et au-delà.

Dans l'imagination au moins, l'ère spatiale commence, et l'imagination saisit l'occasion. Dès 1584, à Venise, Giordano Bruno publie *De l'Infinito, Universo e Mondi*. En 1686, le philosophe et poète Bernard de Fontenelle publie ses *Entretiens sur la Pluralité des mondes habités*, traduits d'ailleurs en anglais dès 1718. Le physicien néerlandais Christiaan Huygens, astronome à l'Observatoire de Paris, développe ces idées dans *Cosmothecos*, publié en 1695. Plus tôt, Cyrano de Bergerac avait imaginé des moyens de propulsion spatiale plutôt rocambolesques dans son *Histoire comique des état et empire de la Lune et du Soleil*. Les Anglais s'y mettent aussi : en 1638

l'évêque Francis Godwin de Hereford publie *The Man in the Moone : or a Discourse of a Voyage thither*. Tout le monde connaît, bien sûr, le voyage *De la Terre à la Lune* de Jules Verne, publié en 1865, avec son point de lancement (par canon !) en Floride, non loin du Cap Canaveral. En 1875, Achille Eyraud décrit un *Voyage à Vénus*, à l'aide d'une fusée à eau ! Du côté des russes, Konstantin Edouardovitch Tsiolkovski (1857-1935) raconte en 1892 le voyage vers la Lune ; mais il fait bien plus, travaillant sur les équations du vol spatial.

5 juillet 1687 : Isaac Newton

Il faut rappeler que même si Copernic a mis la Terre parmi les planètes, il n'a point éclairci la mécanique planétaire et céleste. De ce côté, l'ère spatiale commence le 5 juillet 1687, avec la publication de l'ouvrage de Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ouvrage qui établit les lois du mouvement et de la gravitation universelle. Dans son *Traité du système du monde*, une version plus accessible du livre III des *Principia*, publié en anglais en 1728, Newton examine le mouvement d'une pierre projetée horizontalement d'un sommet de montagne. Cette pierre retombe de plus en plus loin sur le sol quand on augmente la vitesse de projection, jusqu'à une vitesse à laquelle elle ne tombera plus, mais restera en orbite autour de la Terre. Voilà, en équations, la conception d'un satellite artificiel. Dès 1733, dans la XIV^e de ses *Lettres philosophiques*, Voltaire fait l'éloge de Newton, et en 1738 il publie *Eléments de la philosophie de Newton*. Plus tard, au début du XIX^e siècle, Pierre Simon

Laplace (1749-1827) étendra le travail de Newton, considérant notamment les complications entraînées dans les orbites des divers corps célestes et des planètes par les perturbations gravitationnelles des planètes.

1881-1930 : Russie, Etats-Unis

Du côté des russes, Tsiolkovski publie en mai 1903 son ouvrage de pionnier «L'exploration de l'espace cosmique à l'aide de moteurs à réaction», développant pour la première fois les équations qui s'appliquent à des fusées à plusieurs étages. Avant Tsiolkovski, le technicien Nikolai Ivanovitch Kibalchitch avait eu l'idée d'un véhicule habité, propulsé par une fusée à carburant solide, projet qu'il rédige peu de jours avant son exécution pour sa participation à l'assassinat du Tsar Alexandre II le 1^{er} mars 1881 par l'organisation révolutionnaire terroriste *Narodnaya Volya* (*la volonté du peuple*).

Ces travaux étaient peu connus en dehors de la Russie. Aux États-Unis, Robert Hutchins Goddard (1882-1945) envisage l'emploi de carburants liquides dès 1909, et obtient un premier brevet dès 1914. Il est le premier, le 16 mars 1926 à faire voler une fusée propulsée par un mélange d'essence et d'oxygène liquide. Ce petit engin atteint une altitude de 12m50. Dès 1929 la Smithsonian publie son exposé *A method for reaching extreme altitudes*. Ses travaux attirent peu d'attention avant sa mort, mais la NASA a donné son nom au Goddard Space Flight Center près de Washington et au Goddard Institute for Space Studies à New York.

1923-1945 : Allemagne

Du côté des Allemands, c'est en juin 1923 qu'Hermann Oberth (1894-1989) publie son livre *Die Rakete zu den Planetenräumen* (les fusées vers l'espace interplanétaire), sur la base d'une thèse présentée à Heidelberg mais rejetée à cause de sa teneur «excessivement spéculative». Inspiré par Jules Verne, Oberth arrive indépendamment aux équations de Tsiolkovski. Son livre très lu en Allemagne traite à la fois de la technologie des fusées et de la vision de l'exploration spatiale. Oberth anime la *Verein für Raumschiffahrt* (VfR, société d'amateurs du vol spatial), fondée en 1927 à Breslau (aujourd'hui Wrocław, Pologne). En 1929 il publie *Die Wege zur Raumschiffahrt* (la voie du vol spatial), et il conseille Fritz Lang dans son tournage du premier film spatial *Die Frau im Mond* (La Femme dans la Lune). En 1930, la VfR commence à tester des fusées à carburant liquide. Dès 1932, elle reçoit des crédits des militaires allemands. En effet, si le Traité de Versailles interdisait à l'Allemagne de développer une aviation militaire, il ne contenait aucun alinéa sur les fusées.

Parmi ceux qu'Oberth inspire, il y a le jeune Werner von Braun (1912-1977), le premier civil employé par la *Reichswehr* pour la recherche sur les fusées. Lorsque les Nazis prennent le pouvoir en 1933, certains des membres de la VfR émigrent ou quittent la Société, mais d'autres rallient l'effort militaire du Troisième Reich. Von Braun, membre du parti Nazi à partir de 1937, devenu directeur du centre secret de

Peenemünde sur la côte de la Baltique, est promu *Untersturmführer* des SS, puis *Sturmbahnführer* (Colonel) en 1943. Son travail avec le général Dornberger, aidé par les milliers de travailleurs esclaves à Peenemünde puis à l'usine souterraine Mittelbau-Dora rattachée au camp de Buchenwald, mène au développement puis à la production industrielle de la fusée A4 (Fig. 4). Plus connue sous le sigle V-2 (Vergeltungswaffe ou arme de vengeance), cette fusée est le premier engin balistique opérationnel à carburant liquide (brûlant un mélange alcool-eau avec de l'oxygène liquide). Six mille de ces fusées ont été construites, et plus de trois mille tirées, surtout à partir de 1944, quelques-unes vers Paris, la plupart vers Anvers et Londres, faisant plusieurs milliers de victimes. Et n'oublions pas que la mortalité parmi les travailleurs esclaves de Dora a été au moins double...!

Von Braun et ses collaborateurs avaient bien d'autres projets, dont

un tandem intercontinental A9-A10, le *Projekt Amerika*, et un projet A9/A10/A11 de satellisation. À l'approche de l'Armée Rouge en avril 1945, il quitte Peenemünde pour le sud de l'Allemagne avec quelques 500 collaborateurs et de nombreuses fusées, et se rend à l'armée américaine le 2 mai 1945. Notons toutefois que les Soviétiques avaient acquis en août 1944 les débris d'une A4 tirée en Pologne et récupérée par l'armée de résistance polonaise, et ils ont également capturé ou recruté de nombreux ingénieurs et techniciens allemands dans les mois suivant la reddition. Cependant, l'usine de Dora, dans ce qui devait être la zone d'occupation soviétique, avait été libérée par l'armée américaine le 11 avril. Avant l'arrivée des Soviétiques, les Américains ont pu expédier aux États-Unis une centaine de V-2 ainsi que plusieurs tonnes de documentation. Le 15 octobre 1945, à Cuxhaven, les occupants britanniques ont invité des spécialistes américains et soviétiques à observer le lancement d'une V-2 par des



Fig. 4 : Chaîne de montage de V-2, Mittelbau-Dora, photo US Army, 1945
V-2 assembly line at Mittelbau-Dora

techniciens allemands (projet *Backfire*). Au cours de ce même mois, les Etats-Unis démarrent le projet *Paperclip*, transférant von Braun et son équipe aux Etats-Unis. Dans la zone soviétique, on remet en marche la production de fusées, mais dès octobre 1946, on transfère tous les spécialistes allemands comme soviétiques en URSS.

1945-1957 : l'URSS

Le chemin de *Sputnik* était bien engagé. Et chemin est le mot qui convient, car son équivalent russe est *pout'*, un *poutnik* est un routard, et *sputnik* peut être un compagnon de route (pas nécessairement au sens politique), donc un objet accompagnant notre planète, un satellite dans son orbite autour du Soleil. Certes, les Soviétiques ont tiré profit du savoir-faire allemand à partir de 1945, mais ils s'étaient en fait engagés sur le chemin de *Sputnik* bien avant. En Russie devenue soviétique, le travail de Tsiolkovski avait inspiré toute une génération de chercheurs et d'ingénieurs comme d'écrivains de science-fiction. L'idée du vol spatial cadrait bien avec l'idéologie du progrès par la science. En 1921, le gouvernement soviétique établit un laboratoire de recherche et développement de fusées à application militaire ; sa première fusée à carburant liquide est lancée en 1933.

Toutefois, la route vers *Sputnik* n'était pas sans embûches. Sergueï Pavlovitch Korolev (Fig. 5 : 1907-1966), nommé chef d'un important institut de recherche à Moscou dès 1932, est arrêté pour « sabotage » en 1938, condamné

à huit ans de travaux forcés et envoyé au goulag de Kolyma. En 1940, on le transfère au *charachka* (goulag scientifique) NKVD CKB-29 de Moscou, dirigé par André Toupolev, également prisonnier. Libéré en 1944, Korolev prend part aux missions soviétiques de récupération de matériel, de spécialistes et de documents en Allemagne occupée.

Par la suite, Korolev joue le rôle – longtemps tenu secret – de « concepteur principal » des fusées, satellites, et sondes interplanétaires soviétiques. Père fondateur du programme spatial soviétique, il reçoit le Prix Lénine en 1957, la médaille d'or Tsiolkovski de l'Académie des sciences de l'URSS en 1958.

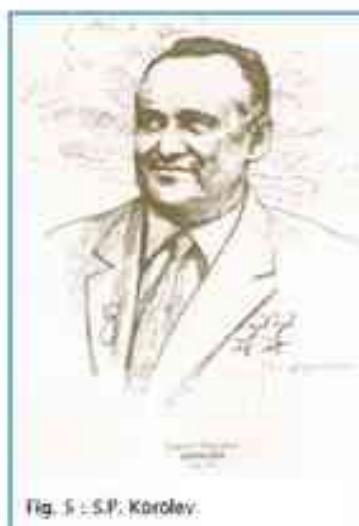


Fig. 5 : S.P. Korolev.

Premier directeur en 1946 du nouveau Bureau spécial de conception, aujourd'hui la S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia, Korolev fait d'abord lancer des V-2 allemands de Kapustin Yar (au sud-est de Stalingrad) en 1947, puis il dirige le développement de la fusée



Fig. 6 - Lancement de la fusée R-7 Semyorka (photo S.P. Korolev RSC Energia)
Launch of the R-7 Semyorka rocket

R-7 Semyorka, à 8 000 km de rayon d'action (Fig. 6).

Cette fusée à vocation militaire, pouvant porter une charge thermonucléaire d'une puissance de 3 à 5 mégatonnes de TNT, testée pour la première fois en mai 1957 à Baïkonour (Tyuratam, Kazakhstan), propulse dans l'espace le premier satellite artificiel de la Terre, *Sputnik-1*. Et c'est l'ambassadeur de l'URSS aux Etats-Unis qui a le plaisir, et l'honneur, d'annoncer à Washington cette première, le soir du 4 octobre 1957, lors d'une réception de scientifiques et d'administratifs impliqués dans l'organisation de l'Année géophysique internationale.

1945-1957 : Etats-Unis

Et aux Etats-Unis, pendant ce temps ? Après tout, von Braun et

LES DÉBUTS DE L'ÈRE SPATIALE

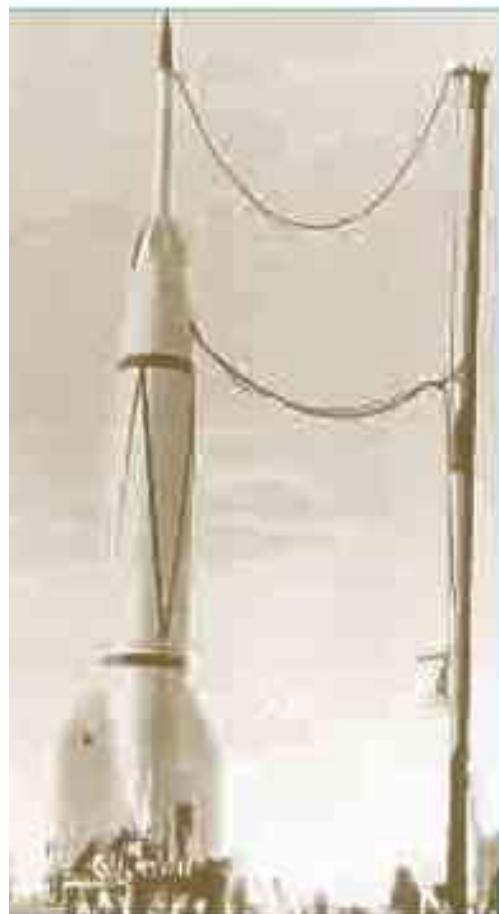


Fig. 7 - V-2 avec WAC-Corporal en 2^e étage, sur le pas de tir de White Sands
V-2 with a WAC-Corporal second stage
on the White Sands launch pad.

Dornberger avaient livré à l'Armée américaine l'équipe principale allemande d'ingénieurs et techniciens de fusées, accompagnée de tout un train chargé de matériel. Von Braun pensait sans doute à son rêve de voyage spatial, mais il voulait certainement aussi être du côté des vainqueurs dans tout futur conflit. Avec les explosions des premières bombes nucléaires en 1945, le rôle militaire potentiel des fusées à longue portée change

d'ordre de grandeur. Toutefois, aux États-Unis, encore seuls à posséder l'arme nucléaire, les politiques et militaires ne s'inquiètent guère d'une menace venant de l'Union Soviétique encore dans les ruines de l'après-guerre. On n'a aucune idée d'une course à l'espace. Néanmoins, dès 1946, l'aviation de l'Armée établit le projet RAND (Research and Development), produisant un premier rapport sur un projet de satellite artificiel de la Terre (*Preliminary Design of an Experimental World-circling Spaceship*).

Dans la communauté scientifique américaine, il n'y avait pas d'unanimité sur l'intérêt des fusées intercontinentales, des satellites ou du vol spatial. Néanmoins, malgré les réductions des crédits militaires entre 1945 et 1950, l'Armée, avec l'équipe de von Braun ainsi que presque 200 V-2 capturés, procède entre 1946 et 1952 au tir d'une soixantaine de fusées, certaines portant un WAC-Corporal en deuxième étage (Fig. 7), la plupart depuis la base de White Sands (Alamogordo, Nouveau Mexique), quelques autres du Cap Canaveral (Floride), et une depuis le porte-avions Midway dans l'Atlantique.

L'objectif de l'Armée était surtout d'acquérir de l'expérience pour le développement de missiles militaires, mais elle a accepté d'embarquer des charges utiles scientifiques dès le 2^e lancement, le 16 avril 1946. En plus du Naval Research Laboratory, de nombreux laboratoires industriels et universitaires ont fait voler des instruments pour la mesure des rayons cosmiques, du rayonnement solaire ultraviolet, et des propriétés physiques de la

haute atmosphère. On a aussi embarqué quelques expériences de biologie, et on a fait de nombreux essais de photographie de la Terre depuis l'espace. En 1947, un vol de V-2 fournit la première photographie de la couverture nuageuse à partir d'altitudes supérieures à la centaine de kilomètres, bien plus que ce que l'on pouvait atteindre par ballon (Fig. 8). Avant 1951, un rapport secret RAND avait examiné l'intérêt d'utiliser des satellites artificiels pour la surveillance météorologique, définissant les caractéristiques nécessaires de telles plates-formes. L'idée des satellites était donc en l'air quelques années avant Sputnik.

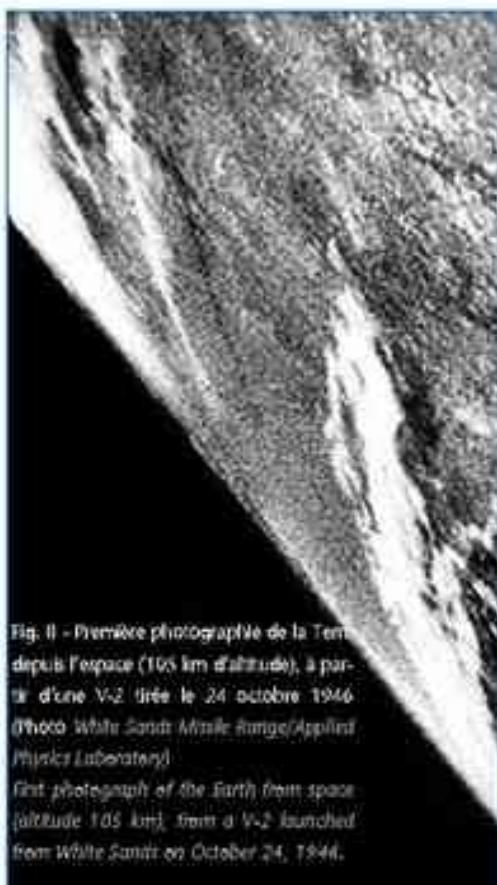


Fig. 8 - Première photographie de la Terre depuis l'espace (105 km d'altitude), à partir d'une V-2 tirée le 24 octobre 1946
First photograph of the Earth from space (altitude 105 km), from a V-2 launched from White Sands on October 24, 1946.



Fig. 9 - Le projet de Clarke (1945)
Arthur C. Clarke's project (1945)

Rappelons aussi que déjà en 1945, Arthur C. Clarke (1917-), alors instructeur radar à la Royal Air Force, aujourd'hui auteur renommé de science-fiction, avait écrit deux articles dans le magazine *Wireless World* dans lesquels il « invente » en quelque sorte le concept d'utiliser des satellites en orbite géostationnaire (Fig. 9 : satellites en orbite circulaire à 35 800 km dans le plan équatorial, tournant autour de la Terre en 24 heures) comme relais de télécommunications, trois plates-formes de ce type pouvant assurer une couverture mondiale (à part les zones polaires). Clarke les imaginait en stations habitées, mises en service à partir de 1995; dans la réalité on assure ces fonctions avec des satellites non habités, et cela depuis 1975 déjà.

Tout en poursuivant les essais de fusées au White Sands, l'Armée installe le groupe de von Braun au Redstone Arsenal (devenu le NASA Marshall Space Flight Center) à Huntsville dans l'Alabama, où il

développe la fusée Redstone. En même temps, von Braun continue de rêver de vaisseaux habités, et il propose en 1946 un projet de station spatiale, en forme toroïdale et en rotation pour fournir une pesanteur artificielle. Mais depuis, américains comme soviétiques se sont passés de pesanteur artificielle dans leurs stations habitées, et il n'y en a pas non plus dans l'assemblage de la Station Spatiale Internationale.

Bien des scientifiques américains avaient conscience du potentiel énorme de l'espace scientifique, et en préparant l'Année Géophysique Internationale ils ont réclamé le développement de satellites artificiels pour l'observation scientifique. À la suite de la réunion de 1954 à Rome, l'administration Eisenhower prend l'engagement de construire et de lancer des satellites dans le cadre de l'AGI, insistant sur le caractère civil et non militaire du projet. Avec une charge très faible d'instruments sophistiqués, la fusée Vanguard devait être construite indépendamment de la fusée Redstone de l'Armée (de terre) développée par von Braun comme de la fusée Atlas de l'Armée de l'Air (mais avec un lanceur de premier étage très similaire il est vrai au missile Viking de la Navy).

Le lancement de Spoutnik bouleverse ce projet, faisant monter la pression pour un lancement immédiat d'un satellite américain. En 1957, après le choc des premiers essais de bombes nucléaires soviétiques en 1949, après la guerre de Corée, après la répression de la révolution hongroise, la course aux armements entre les Etats-Unis et l'Union Soviétique s'accélère.

Spoutnik fait voler en éclats la confiance des Américains en leur supériorité technique. Les 84 kg de la sphère, la brillance dans le ciel crépusculaire de son lanceur en orbite, confirmant que les Soviétiques disposent de fusées extrêmement puissantes.

Que des satellites soviétiques puissent survoler (et photographier ?) impunément les bases militaires américaines et que des missiles armés de charges thermonucléaires puissent atteindre le territoire national, met sérieusement en question la sécurité nationale. Le 10 octobre la question fait l'objet d'une réunion du National Security Council. Le 3 novembre (40^e anniversaire de la révolution bolchevique), les Soviétiques réussissent un deuxième lancement, Spoutnik-2 avec le chien Laika à bord et une masse totale de 508 kg en orbite. Les Etats-Unis cherchent alors à tout prix à lancer Vanguard avant la fin de l'année. Le prix sera élevé. Le 6 décembre 1957, sous les yeux de millions de téléspectateurs aux Etats-Unis et ailleurs sur le globe, la fusée Vanguard s'élève lentement du tarmac du Cap Canaveral, pour basculer et exploser 6 secondes après. Venant après les deux réussites soviétiques, quelle catastrophe !

Le projet Vanguard, séparé des projets militaires, apparaît alors comme un luxe dangereux. Lors d'une réunion secrète avec le Secrétaire (ministre) de l'Armée et d'autres officiels à Washington le 29 octobre, von Braun qualifie la première spatiale soviétique de « tragédie nationale », et déclare que son équipe de

la fusée Redstone (*Jupiter-C*) de l'Armée peut sans difficulté mettre en orbite un satellite de taille. On lui donne le feu vert, et le 31 janvier 1958, moins de quatre mois après *Sputnik-1*, on lance avec succès le premier satellite américain, *Explorer-1*. La charge utile de ce satellite

comporte un compteur Geiger fourni par James Van Allen (1914-2006) et ses collègues de l'Université d'Iowa, pour mesurer la variation du flux de rayons cosmiques avec la latitude géomagnétique. L'orbite du satellite, très elliptique, atteignait 2500 km à l'apogée ; les signaux

indiquaient un flux de rayons cosmiques extrêmement fort à des altitudes voisines de 1200 km, très faible à d'autres. Avec *Explorer-3*, lancé avec succès le 26 mars 1958, des données plus complètes démontrent que la Terre est entourée de ceintures de radiations (parti-

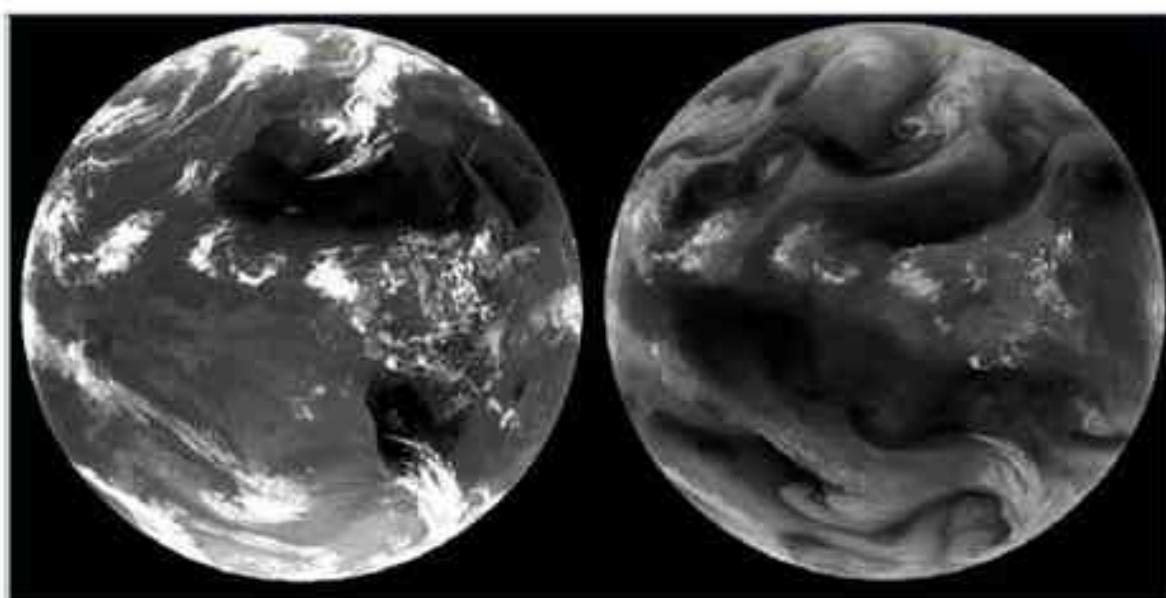


Fig. 10 - Deux images de la même moitié de la Terre (images Meteosat du 29 octobre 1998 à 12h TU). Source : R. Kandel, échelles de brillance arbitraires adaptées d'images Eumetsat. Le plus clair correspond au signal infrarouge thermique le plus faible, donc aux sommets froids de nuages élevés. • A gauche, l'image dans le canal infrarouge (« fenêtre » vers 11 µm de longueur d'onde) révélant en noir les surfaces continentales les plus chaudes (notamment les déserts du Sahara, de la Namibie et de l'Arabie) là où il n'y a pas de nuages. • A droite, l'image dans le canal « vapeur d'eau » (vers 6,3 µm, dans la bande d'absorption de la molécule H₂O) montre les mêmes nuages élevés en blanc. Le plus noir correspond à des régions de faible humidité dans la haute troposphère, permettant l'évasion du rayonnement infrarouge des couches moins froides à quelques km d'altitude, mais les températures y sont bien plus faibles que celles des surfaces les plus chaudes. On ne voit pas les contours des continents. L'effet de serre naturel de la vapeur d'eau bloque l'évasion vers l'espace du rayonnement IR émis par les surfaces et les couches basses de l'atmosphère.

Two simultaneous images of the same Earth disk (Meteosat, October 29, 1998, 12h UT). Source: Eumetsat. Image brightness scales adapted by R. Kandel. White (on the disk) corresponds to the weakest thermal infrared signal, i.e. to cold high cloud tops.

• On the left: image in the infrared "window" channel (around 11 µm wavelength); in black, the warmest cloud-free land surfaces (in particular the Sahara, Namibian and Arabian deserts). • On the right: the image in the "water-vapor" channel (around 6 µm in the absorption band of the H₂O molecule) shows the same high clouds in white. The darkest areas correspond to regions with low water vapor content in the upper troposphere, allowing escape of infrared radiation from warmer tropospheric levels at several km altitude, where however temperatures are still significantly lower than at the surface. Continents do not appear. This natural water-vapor greenhouse effect prevents direct escape of space of 6-µm IR radiation emitted by the surface and low atmospheric levels.

ules chargées d'origine solaire, piégées par le champ magnétique terrestre), celles qu'on appelle les ceintures de Van Allen. A vrai dire, Spoutnik-2 avait déjà obtenu des mesures qui auraient pu faire soupçonner l'existence de ces ceintures entre 500 et 700 km d'altitude, mais la découverte est bien celle de Van Allen à l'aide des premiers Explorers.

L'aventure spatiale depuis 1958

La course vers l'espace, commen-

cée comme un sprint des deux superpuissances, s'intensifie le 12 avril 1961, avec le premier vol habité de Yuri Alexeïevitch Gagarine (1934-1968), puis le 20 juillet 1969 avec le premier pas sur la Lune de Neil Armstrong (1930-). Au cours des années suivantes, d'autres pays – notamment la France, puis d'autres pays européens, le Japon, la Chine, l'Inde, le Brésil – se mettent dans la course, devenue un marathon de masse. Si parfois certains participants se fatiguent, si les budgets n'augmentent pas en per-

manence, aucun pays n'envisage d'abandonner la course. Cinquante ans après, l'ère spatiale n'en est encore qu'à ses débuts.

C'est en 1977 que l'Europe lance son premier satellite météorologique - Météosat I - en orbite géostationnaire, positionné au-dessus de l'intersection du méridien de Greenwich et l'équateur. Les premières études de l'instrumentation pour ce satellite ont été faites en France, notamment au Laboratoire de météorologie dynamique du

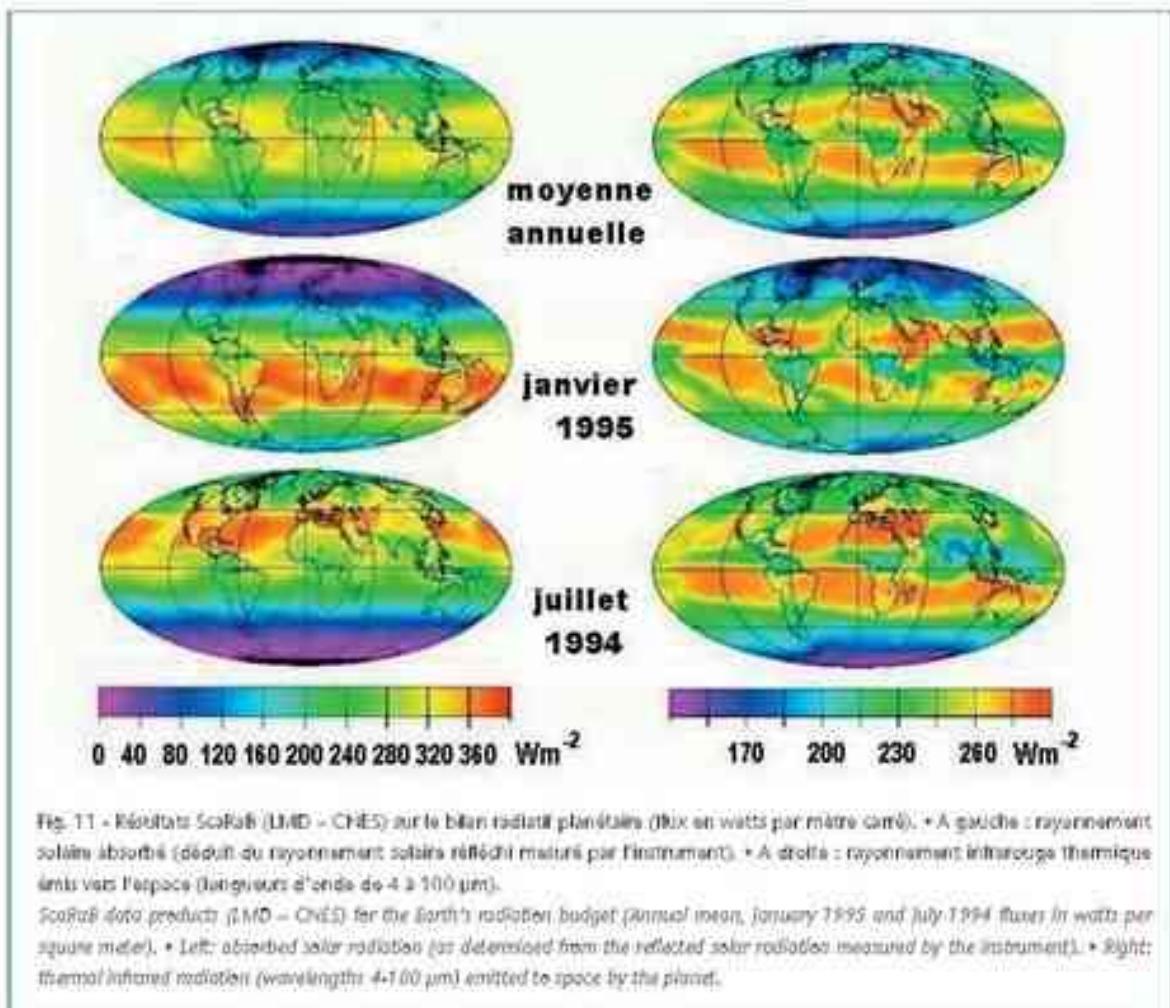


Fig. 11 - Résultats ScPath (LMD - CNES) sur le bilan radiatif planétaire (flux en watts par mètre carré). • A gauche : rayonnement solaire absorbé (déduit du rayonnement solaire réfléchi mesuré par l'instrument). • A droite : rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace (longueurs d'onde de 4 à 100 μm).

ScPath data products (LMD - CNES) for the Earth's radiation budget (annual mean, january 1995 and july 1994 fluxes in watts per square meter). • Left: absorbed solar radiation (as determined from the reflected solar radiation measured by the instrument). • Right: thermal infrared radiation (wavelengths 4-100 μm) emitted to space by the planet.

LES DÉBUTS DE L'ÈRE SPATIALE

CNRS (laboratoire sélectionné du Centre national d'études spatiales). Meteosat a été le premier satellite météorologique géostationnaire à comporter le canal «vapeur d'eau» à 6,3 micromètres de longueur d'onde : il révèle l'humidité et la circulation de la haute troposphère, permettant aussi une belle illustration de l'effet de serre de la vapeur d'eau (Fig. 10). Il est le premier d'une longue série très réussie surveillant le secteur euro-africain. Des Meteosat de réserve ont aussi pu être prêtés pour pallier des pannes des géostationnaires américains sur le secteur Atlantique (important pour surveiller le développement et les trajectoires de cyclones tropicaux), et pour l'observation du secteur de l'Océan Indien, mal assurée par l'URSS et l'Inde.

Implication personnelle

Pour ma part, et malgré mes études, recherches et enseignement en astronomie et astrophysique à partir de 1958, j'étais resté surtout spectateur des affaires spatiales jusqu'en 1977. C'est en 1977 donc que je deviens moi-même observateur spatial de la planète Terre, d'abord par Meteosat intégré, participant ensuite à l'observation du bilan radiatif de la Terre grâce au soutien du CNES et en coopération avec la NASA (ERBE - Earth Radiation Budget Experiment, CERES - Clouds and the Earth's Radiant Energy System). A partir de 1986, nous développons l'instrument ScRaB (Scanner for Radiation Budget) dans le cadre de la coopération spatiale franco-soviétique (devenue par la suite franco-russe, avec aussi une participation allemande), avec des vols sur des satellites russes Météor-3M en 1994-

1995 et 1998-1999. Une version modifiée de cet instrument doit voler sur Megha-Tropiques (coopération CNES-ISRO - Agence spatiale de l'Inde) en 2009.

C'est seulement avec l'observation spatiale que l'on peut observer la répartition géographique, le cycle annuel, les variations interannuelles, et les tendances à plus long terme des échanges d'énergie entre la Terre et l'espace, en particulier la réflexion du rayonnement solaire (l'effet «parasol») et l'émission du rayonnement infrarouge thermique (déterminée par l'effet de serre). C'est par la pollution et par les émissions de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre, que les activités humaines modifient ces échanges et perturbent de plus en plus fortement le climat. La plus grande incertitude dans l'estimation de la sensibilité du climat à nos perturbations vient des interactions entre le rayonnement, les nuages et les particules. Pour mieux observer ce qui se passe au sein des nuages, on a lancé les satellites Cloudsat et Calipso (coopération CNES-NASA) comportant un radar et un lidar (radar laser), et les agences spatiales européenne (ESA) et japonaise (JAXA) préparent la mission EarthCARE (Cloud-Aerosol-Radiation Explorer).

Pour surveiller les activités humaines et comprendre comment elles affectent l'état de notre planète-maison, il faut poursuivre et améliorer l'observation spatiale de la Terre.

Robert Kandel

Quelques sites Internet :

- www.cnes.fr - Centre national d'études spatiales
- www.roskosmos.ru - (en russe et en anglais) Agence spatiale de la Fédération de Russie
- www.nasa.gov - (en anglais) - National Aeronautics and Space Administration (USA)
- <http://history.nasa.gov> - (en anglais) - site de la NASA sur l'histoire
- www.esa.int - (en anglais) European Space Agency - Agence spatiale européenne
- www.eumetsat.int - (en anglais et en partie en français) -Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques
- www.russianspaceweb.com (en anglais) site sur les activités spatiales soviétiques/russes
- www.energia.ru - (en russe et en anglais) S.P. Korolev RSC Energia (Russie)
- www.jaxa.jp - (en japonais et en anglais) Japanese Aerospace Exploration Agency
- www.ise.org - (en anglais et en hindi) Indian Space Research Organization
- www.inpe.br - (en portugais brésilien et en anglais) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- www.cssar.ac.cn - (en chinois et en anglais) Centre for Space Science and Applied Research - Chinese Academy of Sciences
- www.space.gc.ca - (en français et en anglais) Agence spatiale canadienne
- <http://smsc.cnes.fr/MEGHA> - Projet de satellite franco-indien Megha-Tropiques qui doit être lancé en 2009, et auquel participe le Laboratoire de météorologie dynamique du CNRS ainsi que le CETP et le LERMA.

Cinquante ans d'espace. Et après ?

par Roger-Maurice Bonnet



La prouesse

Le 4 octobre 1957 à 22 h 28 et 34 secondes, heure de Moscou, les 20 moteurs de l'étage R.7 de la fusée Sémiorka (Fig.1), ancêtre du Soyouz, soulevaient depuis le Kazakhstan la petite sphère de 80 kg construite

par S. Korolev en URSS et ouvraient la route de l'espace à l'humanité. Une nouvelle révolution était lancée, la deuxième au compte de l'URSS en moins de 40 ans : révolution spatiale qui allait transformer nos modes de vie, de pensée et bouleverser nos connaissances.

La prouesse de Spoutnik-1, suivie moins d'un mois plus tard par celle de Spoutnik-2 -six fois plus lourd- avec à son bord l'ému-vante petite chienne Laïka, puis par les satellites américains, ouvrait en grande pompe l'ère spatiale et en même temps l'espoir d'accéder au plus grand volume jamais exploré par l'homme : le Système solaire et ses planètes, les étoiles, la galaxie, l'Univers. Dans le contexte de compétition féroce qui existait alors entre les deux super puissances, l'URSS et les Etats-Unis, le vide de l'espace offrait soudainement aux uns une bouffée d'oxygène (si l'on peut dire) et d'espoir, tempéré pour d'autres par une crainte certaine de voir les Soviétiques dominer le monde.

On ne peut dire que sans Spoutnik-1 la recherche spatiale n'aurait pas démarré. Il fallut à peine 4 mois pour que les Américains réussissent à lancer leur premier satellite Explorer-1 le 31 janvier 1958. Le fait qu'ils n'occupaient que la seconde place là où on les attendait premiers ajoutait du piment à la scène, où la compétition s'annonçait féroce. Jusqu'au succès d'Apollo-11 et du premier débarquement humain sur la Lune, les Soviétiques ont dominé cette scène. On ne voyait pas de limites à leur progression qui additionnait les premières dans tous les domaines. Le vol de Gagarine moins de 4 ans après Spoutnik-1 reste un événement historique qui à encore a étonné le monde par son audace et par la figure sympathique et légendaire de son héros. Gagarine prouvait que l'Homme pouvait

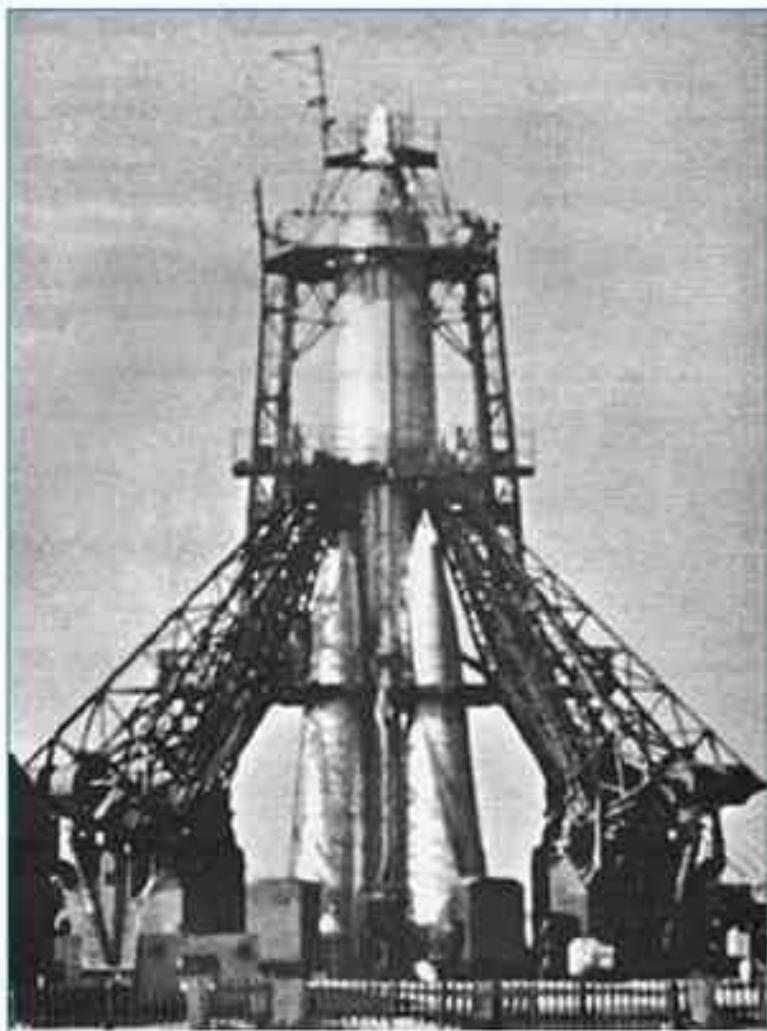


Fig. 1- La fusée R7, Sémiorka, qui lança le premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik-1, le 4 octobre 1957.

The R7 Semiorka rocket on its launch pad, prior to launch of Spoutnik-1, the first artificial satellite of the Earth, on October 4, 1957.

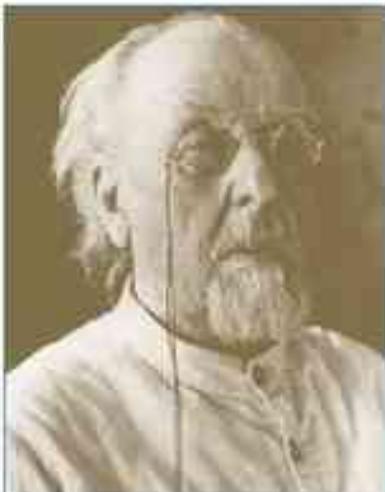


Fig. 2 - Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935), père de l'aéronautique russe qui établit les équations de la propulsion par fusées à la fin du 19^e siècle.
Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935), the father of Russian aeronautics; he published the equations of rocket propulsion at the end of the 19th century.

aussi être un acteur de cette époque, comme l'avait prévu le visionnaire russe K. Tsiolkovsky, véritable inspirateur de la conquête spatiale (Fig. 2). Pourtant, lorsque Neil Armstrong posa son pied sur la Lune, la balance percha brusquement côté américain. Une nouvelle étape démarrait qui allait voir la dominance des Etats-Unis écraser ses compétiteurs et recueillir les plus beaux succès scientifiques de la recherche spatiale. Pourtant, avec le recul, pour gloire que furent ces exploits aéronautiques, c'est bien la petite boule Spoutnik-1 qui imprime sa marque sur ces 50 années les plus vives de toute notre histoire.

Les acteurs

Des deux côtés, le volet militaire, en réalité le vrai moteur de l'effort spatial a créé une capacité

industrielle puissante et donné de facto aux deux superpuissances le statut incontesté de chefs de file, les forçant en même temps à s'engager dans une compétition technologique dont les retombées ont d'ailleurs largement bénéficié au volet civil, qu'il s'agisse des applications ou de la recherche. Les considérations de prestige ont également offert une justification forte au développement de projets les plus ambitieux. La combinaison aigre-douce «compétition-coopération» a aussi permis aux scientifiques de s'impliquer dans nombre de missions d'exploration robotique dont beaucoup de très grande envergure. La course à la découverte a vu peu à peu concourir à leur tour Japonais et Européens et maintenant Indiens et Chinois.

Côté européen, moins de 4 années après Spoutnik-1 de Gaulle formait le Centre national d'études spatiales, le CNES, agence française de l'espace qui permit à la France de devenir le troisième pays au monde à lancer un satellite artificiel par ses propres moyens : A-1 aussi appelé Astérix, le 26 novembre 1965. Cette volonté politique qui a marqué la période gaullienne de la 5^e République a permis à la France de devenir à son tour le véritable chef de file de l'espace en Europe. Son «leadership» en matière de lanceurs, en particulier avec Diamant puis Ariane, reflet d'un indéniable désir d'indépendance vis-à-vis des deux superpuissances, a créé à son tour une autre (petite) révolution. Parallèlement, quelques scientifiques visionnaires, dont Louis de Broglie et Pierre Auger en France et Eduardo Amaldi en Italie, initieront les pourparlers pour créer, à l'ima-

ge du Cern (Centre européen de recherche nucléaire) qu'ils avaient contribué à former en 1954 à Genève, une organisation spatiale européenne, l'ESRO (European Space Research Organization) qui, en 1974 deviendra l'Esa, l'Agence spatiale européenne. Tant le Cern que l'Esa peuvent être qualifiés de succès majeurs de l'Europe moderne. Succès scientifiques, techniques mais aussi politiques puisque ces deux organismes rassemblent des puissances parmi les plus guerrières du siècle dernier dans le cadre d'une coopération totalement pacifique et exemplaire.

Une expérience personnelle

En quelques semaines seulement après Spoutnik-1, l'espace se révéla un véritable eldorado scientifique presque sans limites. A chaque fusée ou satellite lancé, on était à l'affût d'une nouvelle découverte. L'attente ne fut pas déçue. La mince couche atmosphérique qui entoure la Terre吸吸收 la majeure partie du rayonnement des étoiles et aussi du Soleil, en particulier l'ultraviolet, les rayons-X et gamma, l'infrarouge et les ondes submillimétriques. La traversée de cette couche par les fusées, en quelques minutes, dévoile le rayonnement de ces étoiles dans son ensemble. Un potentiel presque infini de découvertes s'ouvrit ainsi aux scientifiques. En réalité ce potentiel avait été un peu exploité déjà par des scientifiques américains dès la fin de la guerre, en particulier grâce aux V-2 allemands récupérés et lancés depuis le territoire des Etats-Unis. Tout était neuf dans cette nouvelle astronomie devenue certain de

chasse et plus vaste volume d'expérimentation accessible aux physiciens et aux ingénieurs.

A 20 ans à peine j'ai été l'un des nombreux témoins du succès soviétique. La prouesse technique et politique que représentait le lancement de Spoutnik-1 a été déterminante pour l'orientation de ma vie professionnelle : je choisis de devenir «chercheur spatial» à une époque où ce terme n'existe pas, aidé en cela par trois grands noms de la science française : Evry Schatzmann, Jean-Claude Pecker et Jacques-Emile Blamont. La chance, dit-on, sourit aux audacieux mais les audacieux doivent savoir saisir la chance. Elle me sourit sous la forme du programme élaboré à la demande d'André Danjon, alors Directeur de l'Observatoire de Paris et grand maître de l'astronomie en France, par Pecker et Blamont quelques semaines seulement après le lancement de Spoutnik-1. Ce programme contenait un volet d'étude de l'émission du Soleil dans le rayonnement ultraviolet, dont je me suis vu confier la responsabilité un bel après-midi d'automne 1961 par Pecker lui-même à l'Observatoire de Meudon. Je saisissais la balle au bond.

En moins de quatre ans j'eus la chance exceptionnelle de pouvoir lancer cinq fusées Véronique, le successeur français du V-2 allemand, à partir de la base d'Hammaguir en Algérie et d'effectuer plusieurs vols de ballon à partir de la base d'Aire-sur-l'Adour. Grâce à l'infrastructure militaire du champ de tir algérien et à l'assistance et aux moyens financiers du CNES j'eus la satisfaction profonde de défricher le spectre ultraviolet du soleil, de faire des images de celui-ci dans des

bandes spectrales jamais utilisées et finalement de devenir docteur ès sciences en juillet 1968, époque où la majeure partie des étudiants français avaient d'autres soucis en tête... L'Institut français d'histoire de l'espace (IFHE) vient récemment de publier un très complet ouvrage¹ sur les débuts de la recherche spatiale en France, consacré plus spécifiquement au programme de fusées sondes, qui donne la mesure de l'importance de ce programme pour la formation de la première génération de chercheurs spatiaux dans les diverses disciplines : astronomie UV, X et gamma, radioastronomie, météorologie, atmosphère terrestre, ionosphère, magnétosphère et médecine spatiale. La participation - fort modeste - qui fut la mienne à cet effort national m'ouvrit les portes de l'espace, but de mes ambitions premières. Quelle école que ce programme fusées-sondes où l'on côtoie science, techniques et découvertes, innovation, responsabilité humaine, direction d'équipes, politique scientifique et internationale, «management» ! Je ne peux rien souhaiter de meilleur à ceux qui, à l'âge où j'entrais sur cette scène, cherchent aujourd'hui leur voie, espèrent se rendre utiles à une cause, atteindre un objectif, et faire passer leur rêve dans le monde réel où nous vivons et où nous vivrons.

Coopération internationale et montée de l'Europe spatiale

Les années qui suivirent Spoutnik-1 virent la création de plusieurs organismes ou comités destinés à coordonner les activités spatiales en particulier au niveau international.

Ce fut le cas du Cospar, le Comité mondial pour la recherche spatiale, dont le siège est à Paris. Le Cospar créé en 1958 fut le forum idéal pour permettre aux scientifiques américains et soviétiques de se rencontrer, de confronter leurs résultats, de les discuter et d'échanger des informations sur leurs programmes respectifs. En dépit des difficultés qui caractérisent cette période de guerre froide, la recherche spatiale dès les premières années a bénéficié de ces échanges qui ont forgé de nombreuses coopérations internationales même si la compétition était latente. Plus tard, les succès des deux grands dans les vols habilités ont aussi noué de forts liens internationaux, d'abord à l'intérieur de chaque camp puis, avec le vol conjoint Apollo-Soyouz en 1975 et maintenant plus fortement encore avec la Station spatiale Internationale, sur une base beaucoup plus large.

Côté européen, très vite, il devint évident que malgré l'ampleur du programme national français, la recherche spatiale revêtait un caractère international intrinsèque qui ne pouvait bénéficier à la science qu'au travers de la coopération. La NASA, Agence Américaine pour l'Aéronautique et l'Espace, créée par Eisenhower au lendemain du lancement de Spoutnik-1, offrit aux scientifiques français et européens la possibilité de participer à l'effort américain de recherche à un niveau plus compétitif que dans le cadre plus restreint de leur programme national (quand il existait). Ce ferment fut à l'origine d'une communauté scientifique spatiale européenne de premier plan.

L'ESRO puis l'Esa n'offraient toutefois pas alors un cadre comparable ni en volume ni en qualité aux ambitions croissantes des scientifiques. Le programme scientifique européen, fort de quelques missions d'étude de la magnétosphère, de l'ionosphère, d'un peu d'astronomie X et UV, n'avait rien de vraiment exceptionnel. D'ailleurs, pour des raisons de coût bien surprenantes aujourd'hui, les missions planétaires avaient été exclues du programme de l'ESRO par décision de son très puissant Launching Program Advisory Committee, son conseil de programme de lancements. Par expérience, je peux dire que ces missions se sont en réalité révélées bien plus abordables que les grands observatoires astronomiques spatiaux.

La chance me sourit une seconde fois lorsqu'en mai 1983 le Conseil de l'Esa m'élu Directeur du Programme scientifique de l'agence. Avec l'aide de quelques grands noms de la science spatiale européenne dont Johan Bleeker en Hollande et Johannes Geiss en Suisse, j'établis en 1984 le plan «Horizon 2000» qui couvrait une période de 20 ans et offrait aux scientifiques européens quatre missions spatiales majeures dans leurs domaines d'excellence : astronomie X (projet XMM), infrarouge et submillimétrique (projet FIRST-Herschell), exploration cométaire (mission Rosetta) et étude des relations Soleil-Terre (SOHO-Cluster), ainsi qu'une douzaine de missions plus petites et moins chères au sein desquelles on trouve en particulier Huygens et Mars Express. Non seulement ce plan a permis d'accroître le budget du programme scienti-

fique de 5 % par an pendant dix ans, mais il a fourni aux scientifiques européens la possibilité de se hisser au plus haut niveau, accessible alors surtout à leurs collègues américains. A son tour l'Europe spatiale pouvait allonger quelques belles premières scientifiques, certes moins nombreuses que les exploits américains et soviétiques, mais qui lui permettaient de devenir un partenaire crédible, un passage quasiment obligé de la coopération internationale scientifique grâce à la qualité de ses équipes et de ses projets.

L'Esa offrit ainsi à la communauté scientifique internationale et à ses «supporters» la première mission d'astrométrie spatiale avec Hipparcos, la première image du noyau d'une comète avec Giotto (Fig.3), la première mission au-dessus du plan de l'écliptique où

évoluent toutes les planètes du Système Solaire, Ulysses, le premier observatoire infrarouge, Izo, le plus lointain atterrissage jamais effectué sur Titan, la grosse lune de Saturne avec Huygens (Fig.4), les premières missions martienne et lunaire européennes avec Mars Express et SMART-1, le rôle de leader dans l'étude du Soleil avec Soho, et la première étude en trois dimensions de la magnétosphère terrestre avec Cluster. Sans parler de la participation au télescope spatial Hubble, d'XMM, plus gros télescope d'astronomie X, de FIRST-Herschell, plus grand télescope infrarouge et submillimétrique, de Rosetta qui atterrira sur une comète en 2013, de Planck pour l'étude du Big Bang, etc... permettant à la communauté scientifique européenne d'atteindre le deuxième rang



Fig. 3 - Première photo d'un noyau de comète (Comète de Halley), obtenue lors du survol par la sonde européenne interplanétaire Giotto dans la nuit du 13 au 14 mars 1986, à la vitesse relative de croisement de 69 km/s. Crédit : Esa-MPA.
First photo of a comet nucleus (Halley's Comet), taken by the European Giotto interplanetary probe during the night of November 13-14 1986, relative speed 69 km/s. Credit: Esa-MPA.

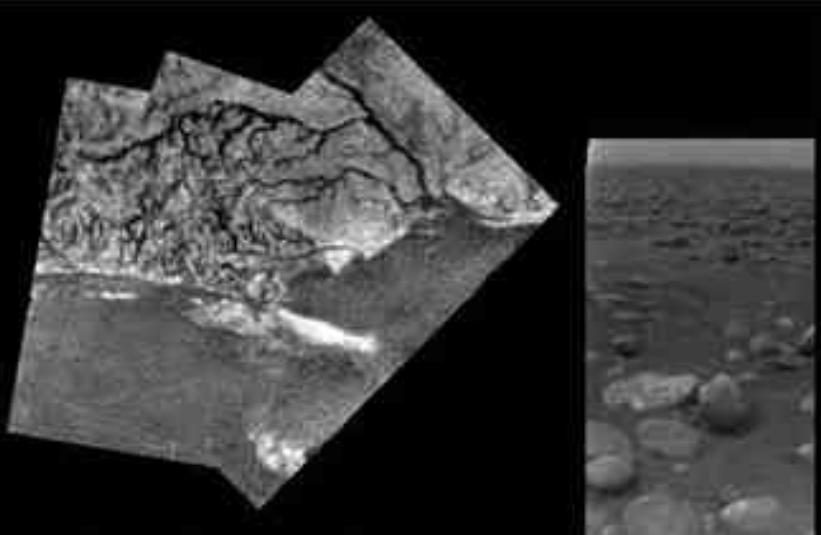


Fig. 4 - Première image jamais obtenue du sol et de la surface de Titan, très grosse lune de Saturne cachée par une épaisse atmosphère de 1,5 bars d'azote et d'éthane. Ces clichés furent pris par le système d'imagerie de la sonde européenne Huygens embarquée à bord de la mission Cassini de la NASA lors de sa descente en parachute dans l'atmosphère puis à l'atterrissement le 15 janvier 2005. Crédit : Esa.

First image ever of the surface of Titan, Saturn's largest satellite. The surface is hidden from view by a thick atmosphere of 1.5 bars of nitrogen and ethane. These images were obtained by the European Huygens probe (flew on board NASA's Cassini mission) during its parachute descent through the atmosphere and landing on the surface of Titan. Source: Esa.

mondial, rang bien difficile à tenir dans un contexte où les budgets

sont constants et partagés ainsi que la volonté politique.

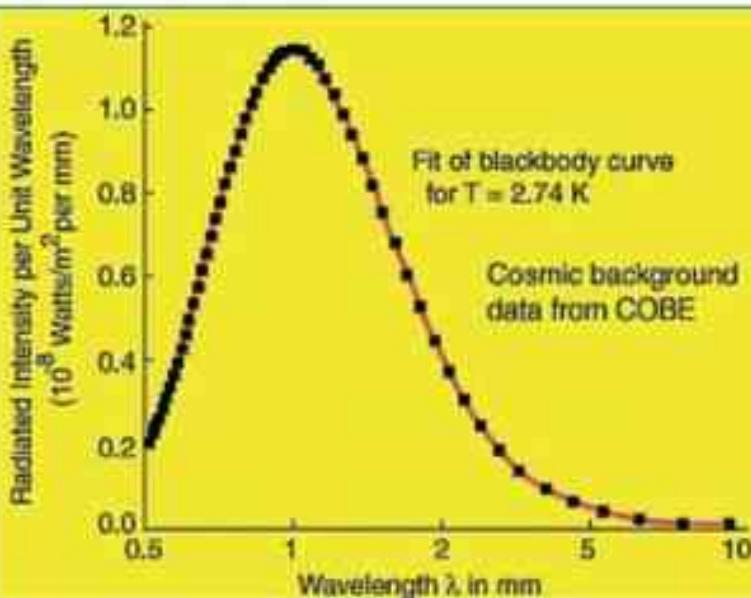
Forte de 17 Etats-membres, l'Esa constitue un cas unique de coopération entre des pays de langues différentes, à l'histoire mouvementée et de capacités diverses et complémentaires. En dépit des difficultés propres à la gestion d'un tel organisme, le modèle offre des perspectives à une échelle plus large et la création de l'Esa n'est pas le moindre des faits marquants des 50 premières années de l'appropriation de l'espace extraterrestre par l'homme.

L'héritage de Sputnik-1

L'héritage de Sputnik-1 est immense. Grâce aux observations extra-atmosphériques, tout le rayonnement de l'Univers a pu être capté (Fig.5). Grâce aux sondes interplanétaires la quasi-totalité du Système solaire, planètes et lunes a été exploré. Grâce à l'espace nous pouvons tester les milieux physiques les

Fig. 5 - Courbe du rayonnement de l'Univers alors qu'il n'avait que 300 000 ans après le «Big Bang». Les carrés noirs sont les mesures effectuées en 1989 par le satellite COBE (Cosmic Background Explorer) de la NASA. Ils s'alignent exactement sur la courbe rouge qui représente le rayonnement d'un corps à la température de 2,74 degrés au-dessus du zéro absolu. Ce résultat valut à ses auteurs, les scientifiques américains J. Mather et C. Smoot, le Prix Nobel de physique en 2006.

Spectrum of the "blackbody" radiation of the Universe 300 000 years after the "Big Bang". The black squares correspond to measurements made in 1989 by NASA's COBE (Cosmic Background Explorer) satellite. They fit exactly the red curve for the radiation of a perfect radiator (black body) at a temperature of 2.74 degrees above absolute zero. The 2006 Nobel Prize of Physics was awarded to J. Mather and C. Smoot for this finding.



plus extrêmes : vide, température, densité, distance, gravité et champ magnétique. Grâce à l'espace, une astronomie nouvelle est née. Les trous noirs, objets singuliers de la relativité générale deviennent légion, se révélant aux foyers des télescopes-X et gamma ainsi qu'à Hubble, seul instrument de l'astronomie spatiale à avoir été conçu pour être maintenu et servi par des astronautes. La présence de l'eau est confirmée partout dans l'Univers et, plus près de nous, dans le sol de Mars, d'Europe, et des lunes de Saturne.

La puissance toujours plus grande des télescopes spatiaux permet de déceler de plus en plus d'objets de moins en moins lumineux et de plus en plus lointains, repoussant les limites d'observation de l'Univers jusqu'à quelques 300 000 ans seulement après le Big Bang.

Avec ces nouvelles découvertes apparaissent naturellement de nouvelles énigmes. Le modèle standard de l'Univers se trouve ainsi sérieusement chahuté : son expansion s'est accélérée il y a environ 8 milliards d'années, phénomène dont on rend responsable une «énergie noire» de nature inconnue. «Noire» aussi, la matière invisible invoquée déjà en 1930 par le Suisse Zwicky pour expliquer la dynamique des galaxies, aujourd'hui traquée par les télescopes spatiaux et par leurs frères géants installés sur Terre, grâce aux effets de lentille gravitationnelle qui donnent des objets lointains des images en forme d'arcs de cercle. Le mystère est épais !

S'attaquant à des horizons moins lointains, l'espace s'est révélé un outil sans égal pour l'étude des planètes et surtout de la nôtre. La photo la plus médiatique de l'espace restera longtemps celle de

cette sphère bleue et blanche, notre Terre (Fig.6) surplombant l'horizon lunaire, prise par les astronautes de la mission Apollo-8. Sans se soucier des frontières politiques, les successeurs de Spoutnik-1 sont ainsi peu à peu devenus indispensables pour mesurer le globe et ses déformations, observer et prévoir les variations météorologiques avec une fiabilité et une anticipation en progression constante (Fig.7), observer le climat, son réchauffement, la fonte des glaces et la montée des océans.

Mais la conquête des orbites s'est aussi révélée un objectif bien difficile. Le succès n'est pas toujours au rendez-vous et l'échec en est une option peu souhaitable mais bien impossible à totalement éviter. Quel drame que ce premier lancement d'Ariane-5 le 4 juin 1996 avec à son bord les quatre satellites Cluster qui retombèrent en mille morceaux après un vol de 40 s seulement, dans la mangrove et les marécages de Kourou, Lamine, carrières défaillantes, abîtement : lot des chercheurs de cette mission malchanceuse. Et que dire de ces astronautes qui ont laissé leur vie dans cette aventure ! Ne pas accepter ce risque, baisser les bras et se rendre devant l'adversité n'est pas cohérent avec l'idée d'explorer les extrêmes. Il faut toujours repartir et enfin gagner ! Telle est aussi l'une des leçons majeures qu'on peut tirer de ces 50 premières années.

Les 50 prochaines années

Les cinquante prochaines années seront sans doute différentes. Ne

Fig. 6 - Image de la Terre au-dessus de l'horizon de la Lune, prise par les astronautes de la mission Apollo-8 alors en orbite autour de notre satellite. Crédit: NASA/Espace & Apollo-8.

Earth above the lunar horizon, photographed by the Apollo-8 astronauts in orbit around the Moon. Source: NASA/Apollo-8 crew.



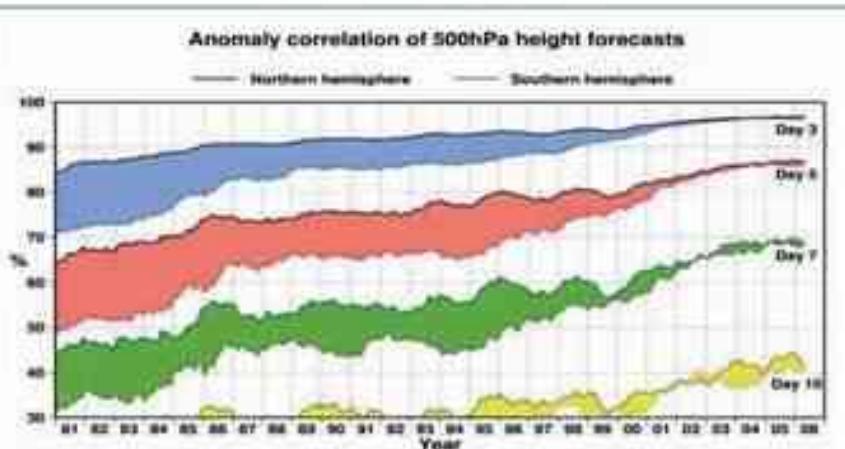


Fig. 7 - Courbes montrant l'amélioration depuis 1961 des prévisions météorologiques à 3, 5, 7 et 10 jours, séparément pour les deux hémisphères. La qualité des prévisions est évaluée à partir des corrélations entre les formes prédictives et observées de la surface où la pression atmosphérique vaut 500 hPa (c'est-à-dire le niveau qui coupe à peu près en deux la masse atmosphérique). Ces améliorations reflètent la qualité croissante des modèles et la puissance de plus en plus grande de calcul, ainsi que, et surtout, l'amélioration des données satellitaires. En effet, la convergence des courbes pour les deux hémisphères révèle le rôle de données satellitaires, qui fournit une couverture complète du globe, alors que les données de surface et de ballons restent très sparses dans l'hémisphère sud. Crédit : ESA.

Curve showing how 3-, 5-, 7-, and 10-day weather forecasts have improved since 1961, separately for the Northern and Southern Hemispheres, using to measure the correlations between the predicted and observed shapes of the surface at which atmospheric pressure is 500 hPa, i.e. the surface approximately dividing the atmosphere into equal masses above and below. These improvements result from improved models, increased computing power, and especially from better satellite data. In particular, convergence of the NH and SH curves reveals the role of satellite data providing complete global coverage, in contrast to sparse surface and weather balloon coverage in the Southern Hemisphere.

serait-ce que parce que se pointent de nouveaux acteurs et non des moindres comme la Chine et l'Inde dont les budgets bien qu'inférieurs à ceux de l'Europe possèdent une capacité de développement très proche, sinon supérieure en raison d'une main d'œuvre moins chère d'un bon facteur 5. Ce contexte nouveau remodèlera la configuration des équipes de scientifiques car la coopération internationale s'avère chaque jour plus nécessaire, ne serait-ce que pour faire face à

l'ambition croissante des missions. Mais dans quel but?

Pour observer les détails du rayonnement cosmique, identifier la matière noire et l'énergie du même nom. Rechercher des planètes extrasolaires, dormant jusqu'à maintenant plutôt réservé aux télescopes terrestres mais qui va peu à peu s'étendre aux télescopes spatiaux, parce que le rayonnement infrarouge, détectable seulement à partir de l'espace, offre la meilleure sensibilité

pour observer les planètes de type terrestre. Mieux et plus que sur Terre, le couplage de télescopes spatiaux, l'interférométrie et le vol en formation de plusieurs satellites joueront un rôle grandissant. La difficulté technologique cédera la place à la difficulté opérationnelle de mettre en œuvre ces systèmes de plus en plus complexes. Ce sont eux sans doute qui permettront, si elle existe ailleurs que sur Terre, de détecter la vie dans d'autres systèmes solaires que le nôtre - mais pas nécessairement sous la forme que nous lui connaissons. Ce temps n'est peut-être pas si éloigné. C'est aussi la recherche de la vie et de ses origines qui soutient beaucoup des programmes d'exploration du Système solaire afin de mieux comprendre comment celle-ci est apparue sur Terre.

Le rêve de Tsiolkovsky

Presque cent ans après que Tsiolkovsky eut prédit que «la Terre est le berceau de l'humanité mais (que) nul ne peut naître éternellement dans son berceau», qu'avons-nous fait de cet héritage? Force est de constater que ce rêve naïf demeure encore un rêve, même si une douzaine d'astronautes ont foulé le sol de la Lune, à seulement 1 seconde-lumière de la Terre! Avec la Station spatiale internationale, à une distance de nos têtes comparable à celle qui sépare Paris de Clermont-Ferrand, soit un peu plus qu'un millième de seconde-lumière, nous n'avons pas vraiment quitté le berceau de la Terre. Mars, la prochaine destination humaine envisageable demeure toujours un désert inhabité, et la plus proche étoile, Proxima du

Centaure, distante de 4 années-lumière, exige quelques 50 à 70 000 années de voyage avec les engins les plus performants. Car depuis 50 ans nous n'avons pas vraiment inventé d'engin plus rapide que la fusée qui lança Spoutnik-1. Les cités spatiales imaginées dans les années soixante par G.K. O'Neill, professeur de physique à l'Université de Princeton², qui prévoyait une colonie de 10 000 personnes en 1988 et entre 200 000 et 2 millions en 2008, avec à l'horizon 2050 une décroissance de la population terrestre plafonnant à 2 milliards d'habitants au profit d'une colonie spatiale de 14 milliards d'humains, demeurent fiction !

Pourtant, dans les cinquante prochaines années, nous retournerons probablement sur la Lune, nous irons sur Mars avec des robots pour faire de la science, peut-être avec des hommes pour d'autres choses («pour le sport», disait le regretté Hubert Curien), ou tout simplement parce que si les uns y vont, les autres suivront. Je suis hélas profondément convaincu qu'aux distances supérieures à l'orbite de Mars le rêve se transformera en cauchemar pour ces individus courageux mais assez naïfs qui aspirent à s'aventurer dans ces territoires inhospitaliers, où vivre ne sera jamais plus facile que sur Terre, où les ressources sont comptées, les distances toujours plus grandes, l'autonomie et le détachement de la mère-planète le sort le plus probable, sans autre perspective que celle d'une vie dans un espace paradoxalement limité, sans biodiversité, sans culture, sans famille et, probablement à terme, sans nourriture.

Mark Kelly, astronaute américain s'est exprimé sur ce point et je partage son opinion. Je le cite :

«Nous retournerons sur la Lune mais nous n'y installerons pas de colonie permanente. Je ne crois pas que nous serons capables de détériorer notre planète au point que vivre sur la Lune sera plus facile que sur elle. La Lune n'a ni atmosphère ni eau. Quand bien même un astéroïde viendrait heurter la Terre, il serait plus facile de continuer à y vivre que de le faire sur la Lune ou sur Mars. Voilà pourquoi nous devons nous occuper de la Terre, nous y sommes collés».

Aujourd'hui la Terre abrite 6 milliards d'habitants et les Nations Unies prévoient un doublement de cette population d'ici cent ans. Ce siècle verra sans doute la fin de l'ère pétrole ainsi que la disparition d'un certain nombre de ressources et de métaux essentiels tels le cuivre, le zinc ou le platine. L'humanité va devoir s'adapter à l'évolution la plus rapide du climat jamais subie. La Terre demande à être gérée ! Elle ne sera cependant pas dans un état pire que ne le sont la Lune ou Mars. Si nous devions l'abandonner, qui choisirait ceux qui partent et ceux qui restent ? D'ailleurs, si nous étions capables d'atteindre un degré de développement tel qu'on puisse envisager cette ultime solution, on est en droit de supposer que nous aurions aussi acquis les moyens de contrôler la démographie et le développement industriel et technique qui permettraient de maintenir la Terre en état habitable et vivable.

La colonisation du Système solaire ne réglera pas le problème de surpopulation et ceux qui prouvent de tels concepts portent une part d'irresponsabilité en refusant de regarder la réalité en face. Celle d'une Terre en voie d'étouffement qui exige des mesures radicales et certes difficiles pour pouvoir continuer à nous offrir le gîte. La Terre exige plus d'attention que la Lune : l'une est déjà morte, l'autre doit survivre ! Nous sommes liés à la Terre. Elle est la seule «station spatiale» capable d'abriter et de nourrir plus de onze milliards d'astronautes ! Nous n'avons pas d'autre choix que de la maintenir vivable et c'est sans doute dans ces conditions que nous pourrons envisager d'occuper après un plus grand volume d'espace, la Lune ou Mars.

Heureusement, les successeurs de Spoutnik-1 nous offrent des perspectives plus optimistes capables d'aider à la sauvegarde de l'humanité et de résoudre ses problèmes existentiels dans un futur proche et plus lointain :

- Pour suivre les déformations du globe terrestre avec les satellites GPS et géodésiques les plus précis,
- Pour surveiller les volcans et prévoir leurs éruptions,
- Pour éviter les tsunamis et leurs conséquences mortelles,
- Pour mesurer la température des mers, surveiller la montée des eaux et l'engloutissement de nos côtes,
- Pour observer la couverture de glace et sa diminution sous l'effet du réchauffement climatique,
- Pour étudier la détérioration de notre atmosphère,

- Pour toujours mieux prévoir le temps, anticiper et se protéger contre les désastres climatiques,
- Pour gérer nos ressources en eau, nos sols et nos villes,
- Pour améliorer la santé, le niveau de vie de tous,
- Pour l'éducation et la connaissance,
- Enfin, pour rêver d'autres mondes.

Conclusion

Nous passerons le 21^e siècle ou nous risquons fort de ne pas survivre plus avant, et l'espace sera le moyen indispensable pour y parvenir et pour gérer notre futur

plus lointain. Mais un «espace» organisé différemment qu'il n'est aujourd'hui, car c'est tout un système coordonné de satellites et de moyens terrestres qui doit se mettre en place, assurant un service global pour le bien de toutes les nations et de leurs populations. Un tel système n'existe pas, même si les agences spatiales actives possèdent et contrôlent quelques uns des éléments indispensables. Une agence spatiale mondiale pour un programme de surveillance et de sécurité mondial ? On a le droit d'y penser. Peut-être pour 2057 ! Cent ans après Spoutnik-1, la civilisation sera spatiale. Pas au sens de

O'Neill, mais plus prosaïquement parce que ce sera tout simplement devenu nécessaire pour envisager de pouvoir continuer d'occuper notre mère-planète pour encore quelques siècles³.

Notes

1. *Les débuts de la Recherche Spatiale Française. Au temps de fusées-sondes*, Ifre, 2007, Edite Eds., 395 p.
2. *The Colonization of Space : Physics today*, sept 1974.
3. Voir aussi : *Surviving 1000 centuries. Can we do it ?* de R.M. Bonnet et L. Wulff, Springer/Plaza Books, à paraître août 2008.

Roger-Maurice Bonnet



Origines et principes de la politique spatiale de la France par Jacques Blamont

Le 6 juin 1944, l'Allemagne mit en service l'avion automatique V-1, pulsoréacteur portant une bombe d'une tonne dont les rampes de lancement étaient surtout dirigées vers l'Angleterre. De juin à septembre une centaine de V-1 s'abattit cependant sur le sol français.

Pendant l'occupation, Henri Moureu, directeur du laboratoire municipal de la ville de Paris, était devenu conseiller technique de la Défense Passive. À ce titre, il avait enquêté sur les trois impacts de V-1 dans la région parisienne. Quatre jours après la libération de Paris, il reçut la visite de deux attachés scientifiques américains, qui lui apprirent l'existence possible d'une fusée à longue portée de masse estimée à dix tonnes.

Appelé le 8 septembre par la police dans la banlieue sud-est de Paris, Moureu écrit le rapport suivant : « Le 8 septembre 1944, à 11 heures du matin, une explosion soudaine se produisit à Charentonneau (Maisons-Alfort). Prévenu aussitôt par les services de police, je procédai sur place à un certain nombre de constatations qui me firent pressentir l'apparition d'un engin nouveau, nettement différent (roulements à billes, appareillage électrique soigné, pièces usinées avec précision), de l'étendue des dégâts et du fait surprenant que l'on n'avait entendu aucun bruit précédent l'explosion et que, dans le même temps, il n'avait été signalé le passage d'aucun avion. »

Du 8 septembre au 4 octobre, avant de cesser de viser la France, la Wehrmacht tira 78 fois sur elle. Lors d'une réunion le 10 octobre

avec des experts américains, Moureu comprit que les Allemands avaient mis au point et utilisé une fusée propulsée à l'oxygène liquide et à l'alcool, appelée V-2. Il entreprit alors plusieurs missions qui lui permirent de comprendre l'engin, y compris jusqu'à la fameuse usine souterraine de Nordhausen. Sous son impulsion, la Dera créa non seulement en novembre 1945 une structure de réflexion, le Cipa², mais aussi, le 17 mai 1946, un laboratoire à Vernon, le LRBA³, et un bureau d'études dans son service technique à l'arsenal de Puteaux. L'objectif primitif était de reconstituer des V-2, avec Moureu comme directeur du projet et l'ingénieur Jacques Lafargue comme directeur technique. Sur l'ordre du général de Gaulle, des ingénieurs et techniciens allemands qui avaient participé à son développement furent embauchés en tant que contractuels à partir de 1946, au nombre total de 123. fut alors décidée la construction d'un champ de tir spécialisé à Colomb-Béchar le 21 avril 1947, le CIEES⁴, qui dépendait du ministère des Armées, ouvert aux trois Armes. Bientôt fut abandonnée la reconstitution du V-2, remplacée par l'étude, lancée en 1946, d'un missile sol-air plus puissant que le V-2 sous la direction de Karl-Heinz Bringer. Ce vétéran avait proposé dès sans succès à Werner Von Braun de remplacer la turbopompe du V-2 par un générateur de gaz beaucoup plus simple et pourtant efficace, piste qu'il put suivre à Vernon et qui fut la base des succès français en propulsion, de Véronique à Diamant.

Dans le cadre de cette étude furent consentis les principaux investissements du LRBA et en

particulier les bancs d'essais des moteurs, dits points fixes, et l'étude théorique complète de l'engin, ainsi que certaines fabrications, comme le générateur de gaz, testé à plusieurs reprises. En 1948, le projet fut abandonné par suite du démantèlement des hautes sphères militaires. Si l'absence d'une politique ambitieuse fit que peu à peu les Allemands quittèrent Vernon, il en resta suffisamment pour que beaucoup plus tard ils participassent de façon décisive à la conception et à la mise au point de another lanceur national de satellites, le Diamant, qui se place dans la lignée des moteurs conçus vingt ans plus tôt à Riegel, et à celle de Coralie, deuxième étage du lanceur Europa-1 de l'ELDO⁵. Enfin dans les années 1950, Heinz Bringer, converti, mettra au point un moteur à turbopompe de 40, puis de 60 tonnes, appelé Viking, qui équipera les premiers et seconds étages d'Ariane-1.

La créativité fut l'une des forces de ces Allemands. Hormis les idées de Heinz Bringer, il convient de signaler le concept original de guidage initial par câble de Véronique, que l'on doit à Wolfgang Pilz, le radar Aquitaine, la première plateforme de guidage inertiel française réalisée en 1958 et certains types d'autodirecteurs dont les idées seront appliquées en France et aux Etats-Unis et qui furent de la responsabilité de l'équipe du Dr Müller, et enfin les paliers magnétiques actifs auxquels le nom d'Helmut Habermann reste étroitement lié.

Sans l'appui des techniciens allemands, la Dera avait commencé en 1948 la réalisation d'un autre

engin dit Eole, dirigée par le colonel Jean-Jacques Barré. Le programme devait se terminer à Hammaguir en novembre 1952 par deux échecs en vol dus à l'ignorance de ses promoteurs en aérodynamique.

La création du CASDN⁶ en 1948 introduisit quelques scientifiques dans le système, en particulier Etienne Vassy, qui étudiait la luminescence du ciel nocturne, amené là par Moureu. On savait que les Américains avaient inventé les recherches spatiales au moyen de 47 tirs de V-2 porteurs d'instruments de mesure, lancés entre 1946 et 1952 sur le polygone de White Sands (Nouveau Mexique). Dans ce contexte fut décidée par le CASDN la réalisation d'une fusée sonde par le LRBA, appelée Véronique. Les objectifs du programme étaient d'une part l'étude du fonctionnement en vol d'un moteur-fusée et d'autre part une contribution à l'exploration de l'atmosphère, grâce à l'emport jusqu'à l'altitude de 65 km d'une masse d'équipement scientifique limitée à 65 kg. Cette Véronique dite N était spécifiée comme un engin de diamètre 55 cm, longueur 6,5 m, masse au décollage 1100 kg, poussé par un moteur de 4 tonnes de poussée pendant 32 sec., fonctionnant à l'acide nitrique et au kéroène. Tout était à inventer. Du 20 mai 1952 au 21 avril 1953, 11 exemplaires furent lancés d'Hammaguir, annexe du CIEES située à 130 km à son Sud-Ouest, inaugurée en 1949. Un phénomène jusque-là inconnu en France, l'instabilité de combustion à basse fréquence, entraîna 9 échecs. Quatre exemplaires d'une nouvelle ver-

sion appelée NA, qui visait d'atteindre l'altitude de 135 km, furent tirés en 1954 avec un taux de succès de 50%. Pour la première fois, des expériences scientifiques avaient été placées à bord de deux fusées, conçues par Vassy et son ami Karl Kauer de l'université de Fribourg. Il s'agissait d'étudier la propagation des ondes électromagnétiques de basse fréquence. En l'absence de tout émetteur radio à bord (télémesure), les données étaient recueillies sur film. L'une des pointes fut récupérée dix-huit mois après le tir et les résultats trouvés assez bons pour être publiés.

Le succès était en partie dû à l'attention portée maintenant à la partie aérodynamique de l'engin, grâce à la création au LRBA d'un ensemble de moyens d'essai unique en Europe : banc d'essai des propulseurs à 100.000 N, soufflerie supersonique en continu allant jusqu'à Mach 4,4, soufflerie supersonique à rafales, simulateur analogique, tunnel de tir,...

L'idée de l'Agi⁷, trouvée par Lloyd Berkner en 1950, avait été proposée aux Unions scientifiques internationales en 1951, et adoptée par l'ICSU en octobre 1952. En juin 1953, les Etats-Unis considérèrent l'inclusion de tirs de fusées. Après le succès de 1954, le CASDN voulut engager la réalisation d'une nouvelle variante dite AGI qui emporterait la même masse de 65 kg à l'altitude de 200 km. Le LRBA remplaça le kéroène par l'essence de térebinthe ce qui diminua la sensibilité aux instabilités de combustion et augmenta de 5% l'impulsion spécifique. Mais le programme devait

lutter contre le scepticisme général. Personne ne croyait au succès des fusées françaises devant les difficultés rencontrées par le programme phare de Vernon, l'engin sol-air Parca dont près de deux cents exemplaires furent tirés sans résultat. Lorsqu'au début de 1955, pour réaliser son plan de redressement économique et financier, le ministre des finances Edgar Faure supprima tous les crédits prévus pour l'AGI, le président et le vice-président du comité français pour l'Agi, le père Pierre Lejay et le directeur de l'observatoire de Paris André Danjon, en obtinrent le rétablissement au niveau d'un milliard de l'époque mais, comme me l'a raconté Etienne Vassy, lorsqu'ils sortirent du bureau du ministre, la ligne Fusées-sondes avait disparu. Or sur la promesse de Vassy qu'elle serait abondée à 80 millions, la DEFA avait engagé une somme de cet ordre pour la mise au point des Véronique-Agi. L'équipe Véronique fut dispersée et les travaux arrêtés. Heureusement, en juillet 1955, le général Maurice Guérin, qui croyait à l'avenir des fusées et satellites, avait été nommé président du Comité action scientifique de la défense nationale. Il décida d'affecter 200 millions de ses crédits à reconstituer le programme français de fusées de l'AGI, comprenant les Véronique (15 exemplaires) et Monica (10 exemplaires) sur lesquelles je ne m'étendrai pas car elles ne fonctionnèrent jamais. Si les fusées Agi n'avaient reçu aucun soutien, c'est que les scientifiques confinaient leurs observations à des opérations menées au sol : plusieurs d'entre eux (E. Vassy, J. Cabannes, J. Dufay, J. Gauzin, R. Grandmontagne, R. Bernard, D. Barbier) étudiaient la lumière du

iel nocturne au moyen de photomètres, spectrographes et interféromètres placés dans les observatoires comme celui de Haute-Provence. Les autres s'intéressaient à l'ionosphère mais uniquement pour obtenir des prévisions de la propagation ionosphérique. Deux groupes rivaux, celui de la Marine dirigé par Y. Rocard (le SPIM) et celui du père Lejay, appuyé sur le Laboratoire National de Radioélectricité à Bagneux (le BiF), consacraient une partie de leurs forces à se combattre l'un l'autre.

Pour les 15 Véronique-Agi, le général Guérin et son adjoint le colonel Robert Genty avaient confié au CNET les pointes, y compris la charge utile scientifique développée par Vassy et les scientifiques qu'il pourrait recruter, sous la responsabilité de Pierre Blassel, chef du département Télécoms au CNET. Le LRBA était chargé des fusées, fabriquées à l'arsenal de Tarbes, et le tir à Hammaguir devait être dirigé par un service de la Délégation à l'Énergie (l'Etat) commandé par le colonel Marchal. Les tirs auraient lieu en décembre 1958, à la fin de l'Agi.

En octobre 1957, j'arrivai à Paris, nouvellement élu à la Sorbonne pour y prendre mes fonctions. Jean Coulomb, directeur général du CNRS, me demanda «d'aider Vassy». J'avais rencontré le promoteur de l'emploi scientifique des Véronique dans des circonstances caractéristiques. Mon premier travail avait porté en 1950 sur l'émission crépusculaire des atomes de sodium dans la haute atmosphère et c'est à ce titre qu'en 1954, Vassy, après avoir obtenu la mise en chantier de la Véronique-Agi, me convoqua dans son laboratoire du quai

Branly avec deux de mes amis, le radioastronome Emile-Jacques Blum et le physicien solaire Raymond Michard, pour nous offrir de la place sur les engins au cas où nous voudrions les utiliser pour nos recherches. Intéressé par sa proposition, je me fis rembarquer par mon patron Alfred Kastler qui m'interdit de participer à cette aventure tant que je n'aurai pas soutenu ma thèse. Il n'avait pas tort. En fait, personne n'accepta l'offre de Vassy et en octobre 1957, alors que le CASDN espérait mener le programme français de fusées de l'Agi, aucune expérience n'avait été décidée et encore moins financée pour les 15 tirs ! Les scientifiques français n'avaient pas le cœur suffisamment accroché pour envisager l'utilisation d'engins qui n'avaient encore jamais volé. D'emblée, le 15 octobre 1957, je proposai l'expérience des nuages de sodium pour les trois premiers et elle fut aussitôt acceptée, permettant les tirs de mars 1959, c'est-à-dire la découverte de la turbopause, les premières mesures de la température de la thermosphère et la création d'une nouvelle discipline, la dynamique de la haute atmosphère. A la suite de ce succès, tous les tirs de Véronique-Agi furent consacrés à des éjections, complétant et approfondissant la percée obtenue en mars 1959, de sorte que finalement notre contribution scientifique «spatiale» à l'Agi, en dehors de l'impact politique décisif qu'eurent ces tirs en France, fut plus qu'honorables. Son succès provint de sa simplicité et en particulier de son absence de besoin en télémesures.

Il ne faut pas croire que le LRBA avait été le seul organisme actif pendant les années 1950. A ce

moment le développement des armements était confié aux services techniques des trois sous-secrétariats à la Terre, à l'Air et à la Marine, qui chacun dans son coin finançait les études et recherches sur les «engins spéciaux», c'est-à-dire les missiles. S'ajoutant au manque complet de coordination, les méthodes de travail héritées de l'avant-guerre n'avaient mené qu'à des culs-de-sac. En particulier le manque d'intérêt général prouvé envers l'électronique, attitude déplorée par l'industrie, n'avait pas permis la mise au point d'équipements de mesure embarqués, de sorte que les essais ne servaient à rien.

Il manquait à la France des structures qui permettent d'élaborer une stratégie nationale, de définir et de réaliser des programmes, au moment où le lancement de Spoutnik-1 ouvrait une ère nouvelle.

A mon niveau, la carence était manifeste. Chargé désormais de la partie scientifique des tirs Véronique, seul dans les quelques mètres carrés qu'avait bien voulu m'accorder Alfred Kastler dans son laboratoire de la rue Lhomond, j'en étais accablé. En juin 1958, j'obtins un soutien décisif de Jean Coulomb, directeur général du CNRS, et d'André Danjon, directeur de l'Observatoire, par la création, effective en décembre, d'un laboratoire propre du CNRS, intitulé le Service d'aéronomie, dont Kastler fut le premier directeur et moi-même directeur adjoint. Dans notre esprit, le nouveau laboratoire propre serait l'inspirateur de la politique scientifique spatiale du pays, et il le devint en effet, permettant

l'exploitation des premiers tirs Véronique.

Durant l'année 1958, pendant laquelle les événements spatiaux se succéderont, le Ministère des Affaires Etrangères s'inquiétait de l'absence de la France dans le concert international. En juillet son secrétaire général écrivait : «Nous ne saurions jouer un rôle important dans l'entreprise internationale d'exploration de l'espace, tant que les travaux accomplis en France demeureront dispersés, sans assiette administrative et réduits à la portion congrue».

Le quai d'Orsay obtint la création d'un Comité de recherches spatiales (Décret du 8 janvier 1959) qui se réunit pour la première fois le 11 février et choisit Pierre Auger comme président, mais pas plus que les militaires dont le parcours avait été lamentable, les civils, nous l'avons vu, n'avaient aucune idée, aucun homme, aucun laboratoire à offrir. L'espace n'était qu'un hochet appartenant au domaine de la diplomatie, c'est-à-dire du verbe, arme principale et souvent unique employée par de Gaulle dans son entreprise de restauration de la «grandeur de la France». Heureusement, il avait désormais les moyens de ne pas s'en contenter. Quelques jours seulement après son retour au pouvoir (dans une lettre à ses ministres du 17 juin 1958 !), il les avait invités à se pencher sur l'impulsion à donner à la recherche scientifique. Aussitôt il avait créé le «Comité des Sages», posé les bases de ce qui deviendra bientôt la DGRST, confiée à Pierre Piganiol, et prévu une forte augmentation du budget de la recherche. Le Comité des

recherches spatiales se sentit habilité à proposer une poursuite énergique du programme de fusées sondes, alors que les instances scientifiques internationales, c'est-à-dire l'ICSU, avaient créé en octobre 1958 un comité de coordination, le Cospar qui dès le 14 mars 1959 reçut une offre alléchante : les Etats-Unis, qui avaient eux-mêmes mis en place une structure pour les affaires spatiales en novembre 1958, la NASA, offraient leurs satellites aux scientifiques du monde entier, s'ils pouvaient concevoir des expériences intéressantes.

Le tir des Véronique en mars 1959 démontra que nous disposions de fusées performantes en émettant sur toute la voûte céleste un extraordinaire météore orange observé en Algérie pendant une heure par le public à des centaines de kilomètres. L'impact médiatique fut grand. Comme l'a dit le Général Robert Aubinière qui devait devenir le premier directeur général du CNES et mon patron direct : «Il est certain que les Véronique Agi ont fait bouger les choses». Alors que la France avait été jusque-là complètement absente d'une activité qui remplissait les comptes rendus des média, elle montrait soudain une capacité qui était présentée par les journalistes comme la réponse à Spoutnik I. Désormais se manifesta un grand optimisme tant chez les techniciens que chez les ministres, convaincus, par le succès très magnifié de nos misérables fusées-sondes, que la France avait les moyens de participer à l'aventure spatiale qui s'accélérerait chez les grandes puissances, si elle le voulait. Le public fut transporté au point que des centaines de bébés-filles furent nommés Véronique.

J'ai résumé un jour la chaîne des événements par la phrase suivante :

«Le CASDON, un petit groupe qui avait, par ses officiers un peu à part, financé cette affaire de Véronique Agi, l'a sortie de l'obscurité pour la projeter dans une lumière de sodium jusqu'au Général de Gaulle».

Le Comité des recherches spatiales disposait désormais d'un support réel pour les expériences ; il proposa aussitôt un plan d'action qui comprit à la fois l'utilisation des Véronique Agi, le développement de fusées plus puissantes et le soutien aux équipes scientifiques en train de naître.

Après le succès de mes expériences avec Véronique en mars 1959, la NASA, très intéressée par la découverte de la turbopause et les premières mesures de la température de l'atmosphère neutre supérieure, m'offrit d'étendre le domaine de nos investigations à de plus hautes altitudes, et je pus ainsi mener deux campagnes de tir en décembre 1960 et octobre 1961 à Wallops Island, au moyen de fusées atteignant 600 km au lieu des 200 des Véronique. Je profitai de ma mission dans la région de Washington du 26 novembre au 31 décembre 1960 pour entamer les négociations sur notre accès éventuel à l'espace, dans la ligne de l'offre qu'avait faite NASA de mettre en orbite des expériences non américaines. Piganiol et Auger se rendirent à Washington pour signer le 21 mars 1961 un accord qui, conformément aux propositions que j'avais faites à nos amis américains, prévoyait le lancement par la NASA d'expériences fournies par la France et l'accueil dans les centres spatiaux

de la NASA de techniciens français. Le choix d'un satellite entièrement français lancé par une fusée américaine Scout fut décidé dans le courant de 1961. L'expérience qu'il portait avait été conçue par Owen Storey, un jeune physicien anglais que j'avais convaincu en 1958 d'entrer au Service d'aéronomie. Fabriqué par le CNES, il sera lancé le 5 décembre 1965 sous le nom de Fr-1. Simultanément, sous la forme d'un programme coopératif avec l'Université du Minnesota, le Service d'aéronomie introduisait en Europe la technique des grands ballons en polyéthylène qui sert encore aujourd'hui et permet de porter chaque année à l'altitude de 40 km une trentaine d'instruments pouvant peser jusqu'à six cent kilos. Les forces du laboratoire avaient été affermies par l'arrivée de Pierre Coufleau, ingénieur de l'arsenal de Puteaux qui avait travaillé aux missiles de la Dcfa, accompagné de plusieurs de ses collaborateurs dont les compétences en électronique rendirent possibles la réalisation (eux aussi furent envoyés à GSFC pour se former) d'équipements scientifiques adaptés à l'espace, et l'installation au fort de Verrières en janvier 1962 lui donna les dimensions nécessaires.

Nous, les scientifiques, aux ambitions limitées par l'idée que nous nous faisions des possibilités financières, n'aurions vraiment pas été bien loin si une autre chaîne d'événements, en partie nourrie par la confiance nouvelle qu'avait infusée aux décideurs la réussite de Véronique, ne s'était déroulée parallèlement à nos efforts, et ce, dans le secret.

Les progrès de la mise au point de notre bombe nucléaire exigeaient le développement de vecteurs, ou engins capables de la transporter avec la spécification d'une masse de 500 kg à porter à la distance de 3000 km. La mise en place de la force de dissuasion reposant sur eux était la priorité du général de Gaulle. Après avoir négocié en vain la fourniture de fusées à longue portée avec les Etats-Unis, il se résolut à la développer lui-même ; mais les responsables de ce projet futur, et principalement Jean Blancard, le Délégué à l'Air du ministère de la défense, comprenaient eux aussi la nécessité de remplacer les arsenaux impuissants et obsolètes par de nouvelles structures. Ainsi fut créée le 17 septembre 1959 la SEREB⁹, société semi-privee qui embauchera des techniciens de l'aéronautique et des gens du service public, avec pour mission la mise au point des SSBS¹⁰ puis, dans une phase ultérieure, des MSBS.

Au début de 1960, la SEREB commença l'étude du SSBS. Elle se rendit compte très rapidement qu'elle avait besoin de développer une famille de véhicules d'essai pour qualifier les sous-systèmes cruciaux, les uns après les autres, tels que les propulseurs à poudre, le pilotage par tuyère mobile, le guidage, la séparation d'étages, le contrôle automatique, la case d'équipements, la rentrée dans l'atmosphère, les installations au sol... Cette famille sera appelée les Pierres Précieuses. La décision est prise que les SSBS et les MSBS utiliseront la poudre, décision difficile qui focalise les efforts ; le premier étage des missiles militaires sera

propulsé par un bloc de dix tonnes. Mais la nécessité d'essayer très vite les équipements indispensables aux phases critiques des vols, comme par exemple les centrales inertielles, en l'absence de toute coopération et même de tout contact avec les Etats-Unis, exige d'utiliser pour les essais un gros engin à propulsion liquide, facile à dériver de la technologie Véronique bien maîtrisée à Vernon. La double filière poudre et liquide, qui permettra le développement futur des lanceurs européens, s'impose.

Pour essayer en vol la propulsion à poudre à une vitesse suffisante, un véhicule d'essai appelé Céphée (devenu Saphir après 1962) comprendrait un premier étage à liquide de 13 t de propergol et 30 t de poussée, un second étage à 2 t de poudre avec quatre tuyères mobiles et une case équipement. Or la direction des études de la SEREB, animée par Bernard Dorléac, découvrit bientôt qu'il suffirait d'ajouter au Céphée un troisième étage pour obtenir un lanceur capable de mettre 50 kg sur une orbite de périphérie 300 km ; ses performances seraient identiques à celles de l'américain Scout ; le coût de l'entreprise serait faible puisqu'il se limiterait au financement du troisième étage et à de petits aménagements pour la satellisation. Telles furent les conclusions surprenantes pour tous du dossier présenté le 23 décembre 1960 au ministre des Armées : alors que l'on croyait l'accès à l'orbite réservé aux superpuissances, les idées du Général sur la force de frappe avaient engendré par leur propre dynamique, sans qu'il y eût poussé lui-même, une composante spatiale inattendue.

A des individus résolus, à des gens jeunes qui n'avaient pas été impliqués dans les erreurs du passé, la ligne politique du Général permettait de bousculer l'influence des veaux et de continuer la France.

Au printemps la SEREB intensifia sa promotion du lanceur de satellites appelé maintenant *Diamant*. Son directeur technique, Roger Chevalier, plaça pour ce projet d'abord auprès de Blancard, puis du ministre des armées Messmer, en faisant valoir que la mise sur orbite d'un satellite par des moyens entièrement nationaux donneraient de la crédibilité à la force de dissuasion, aussi bien à l'extérieur qu'à nos troupes. L'idée provint donc bien de l'effort militaire, depuis les ingénieurs jusqu'au ministre, alors que les civils, depuis les scientifiques jusqu'à leur ministre, restaient ignorants, réservés sinon hostiles, inquiets pour leurs propres crédits.

Au début de 1961, le gouvernement compléta la rationalisation de son effort d'armement en supprimant les Services techniques par Armée et en les regroupant dans une structure unique, la Délégation ministérielle à l'armement confiée au général Lavaud. Les missiles étaient placés sous la responsabilité d'un département des engins dirigé par Pierre Soufflet.

En même temps que la priorité donnée à la force de frappe française commençait à se manifester concrètement, les activités spatiales prirent dans le monde une autre dimension, d'abord avec le vol de Youri Gagarine le 12 avril, puis avec sa conséquence directe, l'annonce par le président John Kennedy le 25

mai de la décision américaine d'envoyer des hommes sur la Lune avant dix ans. Ces événements incitèrent les autorités politiques françaises à donner vraiment des moyens à l'espace français et à en accélérer le progrès. Sous l'influence du Délégué à la recherche scientifique et technique Pierre Piganiol et du premier ministre Michel Debré, deux décisions furent prises : le développement d'un lanceur de satellites et la création d'une structure administrative, pour l'accompagner.

C'est vraisemblablement lors du Conseil du 2 août que se déroula la discussion suivante, telle qu'elle a été rapportée le 6 juin 1991 par Pierre Auger.

Guillaumat (ministre de la recherche) était franchement contre le satellite parce que trop cher (rappelons qu'il l'a qualifié de ballon tricolore). Il fallait que le Général fût convaincu, on ne pouvait rien faire sans son appui complet. Or il n'était pas tellement favorable. Guillaumat a convoqué un conseil interministériel qui s'est tenu à l'Elysée, dans un premier temps en l'absence du Général de Gaulle, où Guillaumat m'avait demandé de discuter avec les ministres qui se trouvaient là. Au conseil, c'est lui qui m'a tapé sur l'épaule en me disant : «Allez-y». Le Général est alors entré et Guillaumat m'a demandé de présenter la question de la création d'un centre français pour les recherches spatiales. J'ai fait un petit exposé sur ce centre, qui aurait pour projet le *Diamant*. Celui-ci pouvait permettre à la France d'entrer dans le jeu international. Le Président de la République a dit :

«Alors naturellement, cela servira aux télécommunications». Puis, il a demandé ce qu'il en pensait au ministre des PTT, que je ne nommerai pas car cela n'est pas très agréable. Celui-ci a répondu : «Cela ne vaut pas la peine que la France se mêle de cela, l'Amérique lance des satellites, la France n'a qu'à lui demander de l'aider à faire des satellites de télécommunications». Le Général de Gaulle a fait une grimace. S'accrocher aux Américains n'était pas son affaire du tout. Il a dit : «Très bien, nous allons voir. Et combien va coûter votre projet?». J'ai donné le chiffre, le Général s'est tourné vers le ministre des finances de l'époque et lui a demandé ce qu'il en pensait, parce que le chiffre était assez élevé. Le ministre des finances de l'époque, qui était très intelligent, a répondu : «Ce n'est pas cher». Le Général a dit que si la France devait entrer dans le jeu, il fallait créer le Centre national d'études spatiales. Il m'a nommé Président, m'a demandé de mettre en route le projet *Diamant*. Puis il a dit à Guillaumat : «Allez-y». Il est sorti et cela a suffi».

Le CNES fut mis en place le premier mars 1962, en tant que responsable de toute la politique spatiale vis-à-vis du Premier ministre, sous la tutelle du ministre délégué chargé des affaires atomiques et spatiales (comme l'avait été le CEA pour le nucléaire). Il se vit confier la tâche de formuler et de mener les recherches nationales, mais également de traiter, en coordination avec le ministère des Affaires étrangères, les questions de coopération internationale. Il dépendait des militaires quant aux lanceurs puisque le développement du tri-étages *Diamant* était confié à la SEREB,

mais il lui restait tout le reste, le champ immense de l'espace que personne en France n'embrassait.

En fait, dans l'esprit du gouvernement, il ne s'agissait que d'un petit bureau d'études qui remplacerait le Comité des recherches spatiales, mais les hommes choisis pour la diriger avaient des visées très différentes.

Transféré du Comité des recherches spatiales dissout, le premier président du CNES Pierre Auger visait à partir pour diriger l'ESRO, ce qu'il fit dès octobre 1962, et le directeur général Robert Aubinière n'ayant recruté que deux techniciens, ne pensait pas posséder les moyens de faire beaucoup mieux que le Comité. En septembre 1961, Aubinière m'avait demandé d'être le directeur scientifique et technique du futur CNES et j'avais accepté. Je pris mes fonctions lors de la création officielle du CNES, tout en gardant la direction du Service d'aéronomie, dont je refusai l'annexion par Aubinière qui voulait en faire le cœur scientifique du CNES, car je considérai nécessaire de laisser leur liberté aux laboratoires de recherche. Moi ce que je voulais c'était un agence comme la NASA, située au centre du dispositif, avec son originalité propre, et non un «bureau d'études». Contrôleur et bénéficiaire du fonctionnement de la NASA, je me faisais du CNES, que j'avais à imaginer en tant que responsable de l'ensemble de ses composantes scientifiques et techniques, une idée bien éloignée de celles d'Auger ou de Piganiol, qui voulaient donner aux scientifiques un rôle de direction de l'espace à travers des comités de coordination. Persuadé de la nature politique de

l'espace, je voulais forger le bras armé du gouvernement français, dans ce domaine évident de la puissance étatique. Je pensais déjà que l'espace est le sceptre du Prince. La future Agence, centre politique avant tout, s'appuierait sur des laboratoires et des industries extérieures.

Il fallait avant tout délimiter le territoire du CNES. Si la DMA assumait la responsabilité du secteur balistique par le truchement de son département des engins, tout ce qui touchait à l'orbite, à savoir satellites et industries correspondantes, stations sol de poursuite et de télécommande, calculs d'orbite, définition et gestion des applications, c'est-à-dire rapports avec les communautés d'utilisateurs, tout cela devait constituer le domaine du CNES. Mes patrons ne croyaient pas qu'ils eussent les moyens de l'occuper.

Personne en Europe ne savait ce que pouvait être un satellite. Mes ambitions pouvaient paraître folles : en mai 1962, le CNES ne comptait que trois techniciens dont moi. J'emmenai donc Aubinière au deuxième congrès du Cospar à Washington et nous fîmes recevoir par le conseiller scientifique du président Kennedy, Jerry Wiesner, pour établir les règles de la coopération entre NASA et CNES.

Les résultats de l'entrevue furent très clairs. Pour le Diamant et tout ce qui touchait la technologie balistique, refus rigoureux de toute coopération. Mais dans le domaine des satellites, la porte était ouverte à un transfert de compétences quasi illimité dans le cadre déjà tracé du programme coopératif Fr-1 déjà approuvé

mais qu'il fallait fabriquer. Il s'en suivit un stage de six mois pour douze ingénieurs du CNES au Centre Goddard Space Flight Centre de la NASA (GSFC) situé à Greenbelt (Maryland).

Installé à GSFC au milieu du mois d'août, tout en veillant à l'installation de nos jeunes gens, je travaillai aussi à la préparation de futures expériences, à savoir le développement des cuves à hydrogène qui devaient plus tard équiper de nombreuses missions spatiales dont D2A et OGO-5, et aussi à la proposition d'instruments permettant de mesurer la luminescence du ciel nocturne, à placer à bord des satellites de la série OGO.

Les premiers instruments français embarqués sur satellites, à savoir des photomètres pour l'étude de la luminescence du ciel, ont donc été conçus pendant cet été. Ils furent développés à l'intérieur d'un programme commun entre Goddard et le Service d'aéronomie du CNRS, que je dirigeais désormais parallèlement à mes fonctions au CNES. La direction scientifique et technique du CNES est organisée à l'automne 1962 en cinq divisions : Programmes sous Pierre Morel, Satellites sous Jean-Pierre Causse, Équipements sol sous Pierre Chiquet, Fusées-sondes sous Bernard Colonka, Etablissement de Brétigny sous Jean Dinkessteller, et sera rapidement complétée par une sixième, Centre de calculs sous Bernard Lago. Rentrés à Paris pendant l'hiver 1962-1963, les jeunes stagiaires du GSFC sont intégrés dans la division Satellites dirigée par Jean-Pierre Causse. Au début de l'année, la direction scientifique et technique du CNES s'installe à

Brétigny dans des bâtiments provisoires engés sur un terrain prêté par le Centre d'essais en vol. Notre compétence nouvellement acquise permet de mener à bien deux programmes en parallèle. Le premier est Fr-1, dont la règle est l'excellence technique, c'est-à-dire que nous nous permettons d'acheter du matériel américain si nécessaire. Le second est la série des satellites D-1 destinés aux tirs Diamant, qu'en principe nous ne devrions pas toucher puisqu'ils ont été confiés à la SEREB, mais dont nous fabriquons trois exemplaires tout de même. La règle pour ceux-là est de n'utiliser que du matériel français pour amorcer la croissance d'une industrie nationale. On sait que le premier satellite Diamant, A-1, placé sur orbite le 26 novembre 1965 perdit ses antennes au lancement et que son émission ne fut pas reçue. Le succès total de Fr-1, lancé le 6 décembre suivant, mit fin à la compétition avec la DMA sur la fabrication du satellite. Les trois tirs Diamant suivants mirent en orbite nos D1-A, C et D, appelés respectivement Diapason, Diadème I et II. A part une légère avarie de D1-A causée par le même défaut de la coiffe responsable de la perte d'Astérix, ils fonctionnèrent parfaitement et même se permirent de créer une discipline nouvelle, la géodésie spatiale : une station de poursuite avec laser, la première dans le monde, fut construite à l'observatoire de Haute-Provence par Robert et Michèle Bivas, chercheurs au Service d'aéronomie, et des réflecteurs installés par le CNES sur les satellites Diadème. Les premiers échos obtenus d'abord sur le satellite américain S-66, puis sur Diadème nous permirent de calculer pour la première fois une orbite repérée par laser (1966).

On vit nos amis américains de GSFC visiter notre station pour apprendre comment s'y prendre. Ainsi avions-nous pu jouer sur l'existence simultanée du CNES et du Service d'aéronomie.

La création de la division Satellites représentait la pierre angulaire de la stratégie que nous entendions désormais poursuivre, c'est-à-dire la transformation du bureau d'études en Agence. Elle s'accompagnait d'une offensive menée dans tous les secteurs de l'activité spatiale, sauf provisoirement le plus important qui nous était encore interdit, celui des lanceurs. La réserve naturelle du CNES, qui détestait les cocoricos et les gesticulations publiques, lui a ainsi permis d'effectuer sa mutation, contraire aux idées de nos autorités de tutelle, dans une clandestinité telle que personne ne l'a comprise. Mes instructions, données par le premier Ministre Georges Pompidou lors de l'installation de la direction scientifique et technique à Brétigny à partir de la fin de 1962, portaient qu'elle devait se limiter à 100 personnes et 10.000 m² de bâtiments provisoires. A notre départ de Brétigny en 1969, nous étions 450 dans 27.000 m² de bâtiments en dur.

Nous étions désormais assez grands pour érigendre notre propre technologie. Dès 1962, Philippe Delache et moi-même concevions le premier satellite pointé du CNES, D2-A, après lequel nous estimions possible de confier à l'industrie française la maîtrise d'œuvre de nos satellites. En 1963 je proposai au CNES le programme de collecte de données qui devait devenir EOLE, conçu au début pour être lancé par un Diamant avant d'être finalement

mis en orbite par un Scout de la NASA en 1971, sous la direction scientifique de Pierre Morel, alors directeur adjoint du Service d'aéronomie avant de prendre la direction du Laboratoire de Météorologie Dynamique en 1969. Il en est sorti le programme ARCSOS, puis COSPAS, qui recueillent les signaux de détresse en mer et on sauve des dizaines de milliers de vies.

Le CNES était devenu capable d'allumer en projets la filière Diamant. Bien plus, devant le désintérêt marqué par les militaires devant les affaires balistiques autres que la mise au point des missiles, il créera en 1966 sa propre division des lanceurs qui mettra au point le Diamant B, puis le BP4, avant de se dévoyer dans un glorieux avatar à la maîtrise d'ouvrage déléguée d'Ariane. Dès 1962, il imaginait, puis proposait et réalisait le champ de tir de Guyane française. Si nous n'avions pas constitué un puissant groupe technique, unique en Europe, il est certain qu'après les quatre premiers tirs Diamant, la France, sous l'influence de G. Pompidou, aurait arrêté son programme national en se déchargeant sur des instances européennes, et que celles-ci auraient sombré en 1971-72, lorsque leur programme de lanceur traversa une crise dont seules les équipes du CNES purent les sortir.

Ainsi s'était constituée une véritable Agence, habile dans tous les domaines de l'espace et devenue pour longtemps l'inspiratrice des affaires spatiales européennes. J'ai appelé cette évolution un extraordinaire double retournement : en France, l'espace, entièrement militaire en 1962, est tombé entre les

mains du civil CNES, tuteur de l'industrie des satellites, développeur de lanceurs, possesseur d'un réseau de poursuite et d'un champ de tir. En Europe, le Royaume-Uni, leader en 1960, a démissionné en achetant le missile américain pour sous-marins Polaris en 1963, car un programme spatial ne reçoit un soutien étatique que s'il donne la priorité au développement des lanceurs, et il descendra jusqu'à refuser de participer au programme Ariane ; à sa place, c'est la France qui fournit à l'Europe l'essentiel des moyens spatiaux, industrie, lanceur, champ de tir. Tout cela est sorti du concept d'Agence, tout est sorti de sa compétence et donc presque tout est sorti de sa coopération séminale avec les Etats-Unis.

Un caractère essentiel du CNES, qui le distingue de toutes les autres Agences d'objectif, est qu'il a voulu rester petit, sans laboratoires propres ni grands équipements. Il n'a eu l'ambition que de faire ce que les autres ne savaient pas faire et après avoir maîtrisé une technologie, la transmettre à ses partenaires scientifiques et industriels dont il assurait la tutelle sans aucun impérialisme. Ainsi, après avoir construit son premier satellite complexe, muni d'un système de pointage sur le soleil, il a instruit un industriel choisi sur concours pour l'initier au programme qui s'est poursuivi par une satellite identique, et il n'a plus jamais construit de gros satellite mais les a sous-traités à des industriels devenus grâce à lui compétitifs. Après avoir assuré la maîtrise d'ouvrage du lanceur Ariane-1, il a créé la société Arianespace qui est chargé de la commercialisation et des tirs de la famille Ariane. Du point de vue scientifique, il a créé des

laboratoires spécialisés dans chacun des domaines de la recherche spatiale, la collaboration avec d'autres organismes, le laboratoire d'astronomie spatiale de Marseille avec le CNRS, le centre d'étude des rayonnements spatiaux avec l'Université de Toulouse ; le groupe de recherches de géodésie spatiale avec l'IGN, le groupe de recherches ionosphériques avec le CNET, le groupe d'astronomie spatiale avec l'observatoire de Meudon etc... Il les a soutenus par des contrats de montants considérables ainsi que des groupes entièrement rattachés à d'autres organismes comme l'ONERA et le CEA. La plupart de ces partenaires, et en particulier le CNRS, n'ont accepté ce soutien qu'à contre cœur.

Cette politique d'extériorisation maximum de ses activités, voulue dès le premier jour par l'équipe fondatrice du CNES et maintenue en dépit des réticences et des difficultés, a fait de la France le moteur spatial de l'Europe. Nous n'avons pas ici la place d'analyser les rapports de la France avec les Agences spatiales européennes, qui se sont développées en symbiose étroite avec le CNES en l'absence de tout conflit, et qui lui donnent une dimension mondiale à travers une collaboration de tous les instants avec ses partenaires. Disons que la France a utilisé pour développer l'espace trois modes de fonctionnement : le mode national, incarné par l'existence du CNES ; le mode européen, incarné par sa participation d'abord à ESRO et ELDO, puis, à leur disparition en 1975, par l'Agence spatiale européenne (Esa) qui les a remplacés ; enfin, le mode bilatéral, incarné par sa participation aux programmes américain et soviétique.

Peut-être le lecteur de ces lignes comprendra-t-il pourquoi l'auteur a adopté pour devise les mots de l'amiral Farragut : « *Damn the torpedoes – Full speed ahead !* »

Références :

- * Claude Carlier et Marcel Gilli, *Trente premières années du CNES*, La Documentation française, Paris 1994.
- * Hervé Moulin, Marcel Gilli, Jean-Claude Renou, Jean-Pierre Sanfourche, Jacques Simon, *Les débuts de la recherche spatiale française : au temps des fusées-sondes*, Edite, Paris, 2007.
- * Jacques Blamont, *La politique spatiale française et son avenir*, Cahier n°12 de la Fondation Charles de Gaulle, Paris, 2003.

Notes :

1. Deta : Direction des études et fabrications d'armement de l'armée de terre.
2. Cepe : Centre d'études des projectiles autopropulsés.
3. LRBA : Laboratoire de recherches en balistique et aérodynamique.
4. CILES : Centre interarmées d'étude des engins spéciaux.
5. European Launcher Development Organization : agence européenne créée en 1962 pour développer un gros lanceur de satellites, réunissant six pays. Une autre agence européenne, ESRO, s'occupait des satellites.
6. Comité d'action scientifique de la défense nationale, organisme de liaison dépendant du ministère des Armées, doté de crédits non négligeables, présidé d'abord par le général Bergeron, puis à partir de 1955 par le général Guérin.
7. Agi : Aéronautique géophysique internationale, en anglais YGY.
8. Etag : Etablissement des travaux d'autoguidage.
9. Société d'études et de recherches balistiques.
10. SSBS : Sol-Sol-Balistique-Stratégique ; MSBS : Mer-Sol-Balistique-Stratégique.
11. « Au diable les torpilles ! En avant toute ! »

Jacques Blamont



L'observation spatiale de la Terre solide et de ses enveloppes fluides par Anny Cazenave

Introduction

Dépoussiére depuis quelques décennies, diverses observations collectées par les satellites artificiels ont relevé une quantité d'informations sur la planète Terre (forme complexe de la Terre et champ de gravité, fluctuations de la rotation de la Terre, déformations globales, régionales et locales de la croûte terrestre en relation avec la tectonique des plaques et l'activité sismique et volcanique), sur l'atmosphère et les terres émergées et, depuis quelques années, sur la dynamique des océans et les variations du niveau de la mer, enfin plus récemment sur eaux continentales et les calottes polaires.

Chacun est habitué à voir régulièrement des images de l'atmosphère terrestre prises par les satellites météorologiques. Ces images ainsi que nombre d'autres observations réalisées depuis l'espace, au sol et au sein même de l'atmosphère, alimentent des modèles grâce auxquels les météorologues peuvent prédir le temps qu'il fera. Alors que les cartes météo sont bien connues du grand public, on sait moins souvent que de nombreux domaines relatifs à l'environnement terrestre bénéficient aussi de la surveillance permanente des satellites. Ainsi l'observation depuis l'espace des terres émergées est devenue incontournable pour la surveillance des risques naturels, des ressources en eau, de l'étendue et de l'état des forêts, ainsi que pour la cartographie, l'occupation des sols, l'urbanisation, le suivi des cultures agricoles et, même, les pollutions. L'observation des océans par satelli-

te a, elle aussi, atteint un degré de maturité tel qu'il est possible aujourd'hui de prédire, comme en météorologie, l'état de l'océan une ou deux semaines à l'avance.

S'il l'utilité de l'espace pour l'étude et la surveillance de l'environnement terrestre est devenue incontestable, elle l'est aussi dans de nombreux domaines ayant trait aux recherches sur la structure de la planète et sur les phénomènes dont elle est le siège. La Terre est un système complexe dont les différentes composantes (de la partie la plus intime du globe jusqu'à l'atmosphère et la biosphère) interagissent sur des échelles d'espace et de temps extraordinairement variées.

Pour décrire la globalité des phénomènes observés, les satellites sont devenus des outils inremplaçables. Leurs avantages sont bien connus : ils offrent une vision globale et une résolution spatiale fine. Leurs observations couvrent des régions d'accès difficile, elles sont réalisées de manière quasi continue ou souvent répétées. Leurs mesures sont bien étalonnées et accessibles rapidement.

Dans un grand nombre de cas, les observations sont réalisées à partir de techniques de télédétection, dont la caractéristique est de décrire à distance les propriétés d'objets naturels ou artificiels, à partir des rayonnements qu'ils émettent ou réfléchissent. Mais d'autres approches sont aussi développées, notamment pour déterminer les propriétés physiques à grande échelle du globe terrestre ou encore les déformations de la surface terrestre. Parmi celles-ci, on peut citer l'embar-

quement sur satellites d'instruments permettant la mesure de phénomènes particuliers comme le champ magnétique de la Terre, la mesure de distances ou de vitesses entre le satellite et des balises placées à la surface terrestre, ou encore la mesure des déformations des trajectoires qui renseignent sur les forces maintenant les satellites en orbite, telle la gravité de la Terre.

On présente ci-dessous quelques exemples d'applications scientifiques de l'observation spatiale à l'étude du système Terre.

Le champ de gravité terrestre

L'étude des orbites des satellites géodésiques a permis d'établir des cartes très précises du champ de gravité de la Terre à grandes longueurs d'onde. Le satellite en orbite est en effet soumis à diverses forces : l'attraction gravitationnelle de la Terre, de la Lune, du Soleil et des autres planètes, le freinage de l'atmosphère, la pression du rayonnement solaire et rediffusé par la Terre, les effets de marées, etc. Toutes ces forces, dont la plus importante est de loin celle liée au champ de gravité de la Terre, contribuent à déformer de façon très complexe l'orbite du satellite au cours du temps. La position et la vitesse du satellite sur son orbite sont déterminées grâce à un modèle des forces agissant sur le satellite ainsi qu'à des observations réalisées entre un réseau de stations géodésiques au sol et le satellite (par exemple des mesures de distance par télemétrie laser ou de vitesses relatives basées sur le décalage Doppler de signaux radioélec-

triques émis par les stations). Le suivi au cours du temps de la trajectoire du satellite permet de déterminer avec grande précision les déformations de celle-ci. L'analyse des déformations d'orbite d'un grand nombre de satellites, sur une longue période de temps (plusieurs années), permet en retour de déduire les forces agissant sur le satellite et en particulier le champ de gravité terrestre.

Plusieurs générations de modèles globaux du champ de gravité terrestre ont été publiées, en particulier par les chercheurs français, à partir d'une trentaine de satellites géodésiques et plusieurs décennies de données. Le champ de gravité terrestre est loin d'être uniforme. Il varie d'un endroit à l'autre de la Terre. Les variations géographiques du champ de gravité résultent de la répartition non uniforme de la matière dans les différentes enveloppes du globe. On peut visualiser ces variations de gravité au moyen d'une surface appelée «géoïde», qui coïncide avec le niveau moyen des océans au repos. A grande échelle, le géoïde présente deux grandes bosses, l'une centrée sur l'Islande, englobant tout l'Atlantique nord, l'autre située au sud de l'Afrique entre Madagascar et l'Antarctique. Quels phénomènes produisent ces déformations permanentes à grande échelle du globe terrestre ? On sait aujourd'hui que les grandes bosses du géoïde coïncident avec les grands courants ascendants de matière chaude qui existent dans le manteau terrestre. Ces courants de matière mantellique ascendants (ou descendants) résultent d'un

phénomène physique qui nous est familier : la convection. Le phénomène de convection résulte du transport vertical de matière dans un milieu fluide chauffé de l'extérieur ou de l'intérieur.

L'atmosphère et l'océan sont le siège de phénomènes de convection. C'est aussi le cas du manteau terrestre qui, à l'échelle des temps géologiques, se comporte comme un fluide. La source de chaleur principale résulte de la désintégration radioactive de certains éléments présents dans les roches du manteau. Les courants de convection à grande échelle dans le manteau terrestre sont responsables du déplacement des plaques lithosphériques à la surface de la Terre et de l'expansion des fonds océaniques, et indirectement de la formation des chaînes de montagnes continentales, de l'activité volcanique et sismique.

De Seasat à Jason : l'altimétrie spatiale appliquée à l'étude de la planète

L'altimétrie radar a été développée dès le milieu des années 1970 pour étudier les océans.

Rappelons brièvement le principe de la mesure altimétrique : le satellite émet vers le nadir une onde radioélectrique au moyen d'un altimètre radar embarqué. Cette onde se réfléchit à la surface de la mer et revient au satellite, ce qui permet de déterminer l'altitude du satellite au-dessus de la surface de la mer par mesure du temps aller-retour du signal. Si on connaît par une

autre méthode (la méthode des perturbations décrite précédemment), l'orbite du satellite, notamment son altitude au-dessus d'une référence (arbitrairement choisie), on peut, par différence, déduire les ondulations de la surface de la mer par rapport à cette référence. Sachant que le satellite effectue une mesure altimétrique tous les 5-7 km le long de son orbite et que les traces de l'orbite sur la surface terrestre peuvent être espacées de quelques km, on voit que l'altimétrie spatiale permet de cartographier directement, avec une très haute résolution, les ondulations de la surface marine.

Le satellite altimétrique Seasat (USA) lancé en 1978 ne fonctionna que 3 mois mais fit une brillante démonstration des potentialités de l'altimétrie spatiale. Plusieurs missions altimétriques lui ont succédé : Geosat (1985-1989, USA), ERS-1 (1991-1996, Esa), ERS-2 (1995, Esa), Topex/Poseidon (1992-2006, CNES-NASA), Jason-1 (2001, CNES-NASA) et Envisat (2002, Esa). Le successeur de Jason-1, Jason-2 doit être lancé en 2008.

Jusqu'au lancement de Topex/Poseidon (qui a marqué le début de l'altimétrie de haute précision), l'altimétrie spatiale a été surtout utilisée pour étudier la Terre solide.

Applications de l'altimétrie spatiale à l'étude de la Terre solide

Les ondulations de la surface marine cartographiées par altimétrie ont deux composantes : une compo-

sante permanente (invariable dans le temps mais qui varie géographiquement), due au champ de gravité terrestre, et une composante qui varie dans le temps, résultant des phénomènes océanographiques (marées, courants, tourbillons, etc.). Pourquoi les ondulations permanentes reflètent-elles les irrégularités du champ de gravité terrestre? Placé dans un champ de gravitation, un fluide a sa surface partout normale à la pesanteur locale. Si la pesanteur varie d'un point géographique à un autre, le fluide (ici la surface moyenne de la mer) qui lui est perpendiculaire, va présenter les ondulations. Ainsi les ondulations permanentes de la surface de la mer, qui coïncident avec le géoïde, reflètent directement les irrégularités du champ de gravité terrestre. Ces ondulations peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres et sont donc supérieures d'un facteur 10 à 100 à celles causées par les phénomènes océanographiques. Grâce à densité de mesures importante conduisant à un quadrillage très fin des régions océaniques (avec une résolution au sol meilleure que 10 km partout, avec les satellites Geosat et ERS-1), l'altimétrie apporte des informations précieuses sur les composantes à haute fréquence spatiales (géographiques) du champ de gravité. Aux échelles spatiales les plus courtes (10-500 km), les ondulations du géoïde marin sont une réplique quasi exacte de la topographie des fonds marins. Pendant des décennies, la bathymétrie a été mesurée par sondage acoustique à partir des navires de commerce, des navires océanographiques ou des bâtiments militaires. Mais de vastes régions océaniques sont restées totalement inexplorees, en particulier dans l'hémisphère

re sud. Grâce aux mesures à haute résolution du géoïde marin collectées par l'altimétrie spatiale, la topographie sous-marine a pu être calculée sur tout le domaine océanique avec une résolution de quelques km partout. Cette topographie montre la grande complexité des fonds marins (Figure 1). Outre les grandes structures déjà connues telles les dorsales océaniques, les zones de fractures et les zones de subduction, ou encore les alignements de volcans sous-marins, la topographie globale des fonds marins révèle d'autres structures jusqu'ici insoupçonnées ou incomplètement cartographiées à partir des bateaux. D'innombrables montagnes sous-marines, dont la moitié d'entre elles n'avaient jamais été cartographiées, ont été identifiées. On a aussi découvert quantité de reliefs fossiles, témoins d'une activité tectonique aujourd'hui disparue. Outre leur intérêt majeur pour la géophysique marine, ces données sont aussi très utiles de nombreux domaines comme la navigation sous-marine, la pêche commerciale, l'exploration pétrolière en mer, etc.

L'altimétrie spatiale de haute précision : un nouvel outil pour étudier les océans et mesurer la hausse du niveau des mers

L'altimétrie spatiale de haute précision, développée depuis le début des années 1990 avec les satellites Topex/Poseidon, Jason-1 et Envisat, est aujourd'hui un outil précieux pour l'océanographie. Cette technique permet de mesurer avec une précision remarquable (environ 2 cm) la hauteur des océans par rap-

port à une référence fixe et ses variations avec le temps. En quelques jours seulement (correspondant au cycle orbital), le satellite réalise un quadrillage complet de l'ensemble des océans. D'un cycle à l'autre, le satellite repasse au-dessus des mêmes régions océaniques. Il peut ainsi détecter les variations de la hauteur des océans au cours du temps. Ces données sont utilisées pour mieux connaître :

- les courants marins et leurs variations
- les marées océaniques
- les perturbations climatiques à grande échelle du système océan-atmosphère, tel le phénomène El Niño
- les variations temporelles du niveau moyen de la mer
- la hauteur des vagues et la vitesse du vent à la surface de la mer
- les phénomènes turbulents de l'océan

La topographie dynamique de l'océan

Comme les continents ou les fonds marins, l'océan possède aussi une topographie qui lui est propre. Celle-ci est superposée aux creux et bosses du géoïde marin. Cette topographie, qualifiée de «dynamique», dont la hauteur est seulement de 1 à 2 m, résulte des courants marins. Il existe en effet une relation entre la hauteur de la topographie dynamique et la vitesse des courants. Ces derniers qui suivent des courbes de niveau, ont une vitesse proportionnelle à la pente locale de la surface instantanée de la mer. Ceci résulte d'un équilibre entre la force de Coriolis et la force de pression exercée sur une parcelle d'eau par l'océan environnant. La

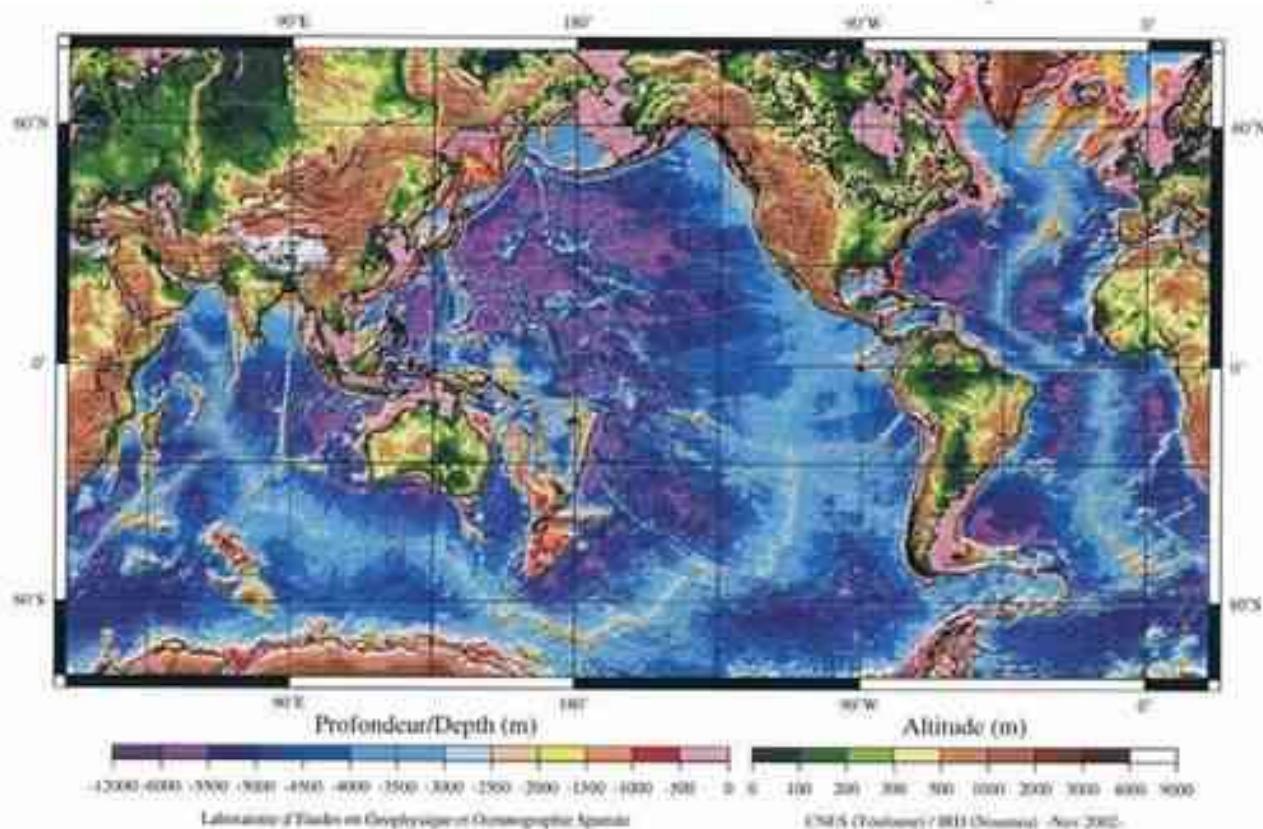


Figure 1 - Topographie des fonds marins déduite des ondulations permanentes de la surface de la mer mesurées par altimétrie spatiale.
Seafloor topography determined from the permanent undulations of the sea surface as measured by space altimetry.

mesure de la hauteur instantanée de la mer permet de calculer la vitesse et la direction des courants de surface. Il s'agit d'une information fondamentale pour déduire la circulation profonde en combinant ces observations avec des modèles.

Réchauffement de la planète et hausse du niveau de la mer

Grâce à Topex/Poseidon et maintenant Jason-1, on mesure avec grande précision et surtout avec une couverture globale, l'évolution du niveau moyen de la mer au cours du temps. Depuis début 1993, le

niveau moyen de la mer s'est élevé de 4,5 cm. La vitesse d'élévation moyenne (de 3 mm par an) est un peu supérieure à celle mesurée par les marégraphes au cours du 20^e siècle (1,8 mm par an) (Figure 2a). Un résultat inattendu de l'altimétrie spatiale est la découverte que cette élévation est loin d'être uniforme (Figure 2b) : dans certaines régions, la mer a monté avec une vitesse 5 fois supérieure à la hausse moyenne ; dans d'autres régions, la mer a baissé. L'élévation du niveau de la mer résulte de plusieurs phénomènes : le réchauffement de l'océan et la fonte des glaces continentales.

Grâce à des données de température de l'océan collectées par des bateaux au cours des 50 dernières années, on sait à présent qu'environ la moitié de la hausse du niveau de la mer des 15 dernières années est causée par la dilatation thermique de l'océan (qui se réchauffe). Ce phénomène est aussi responsable de l'hétérogénéité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer. D'autres observations permettent quant à elles d'estimer la contribution des glaciers de montagne : le recul quasi global des glaciers de montagne enregistré depuis quelques décennies contribue pour environ 1 mm/an à la

Hausse du niveau de la mer. En raison de leur situation reculée, les calottes polaires (Groenland et Antarctique) bénéficient avantagéusement des observations par satellite. Certaines techniques spatiales (altimétrie radar et laser, interférométrie radar et gravimétrie spatiale ; voir plus bas) permettent d'estimer leur bilan de masse. On observe ainsi qu'en moyenne le Groenland et l'Antarctique de l'ouest perdent de la glace (en moyenne 150 gigatonnes par an chacun au cours des dernières années), ce qui contribue pour environ 0,8 mm/an à la hausse actuelle du niveau de la mer. Cette perte de masse de glace résulte principalement de l'écoulement extrêmement rapide de certains glaciers côtiers vers la mer, sous l'effet d'instabilités dynamiques dont les mécanismes ne sont pas encore bien compris. La mesure globale et continue de l'évolution du niveau de la mer par altimétrie spatiale et une bonne compréhension des différentes causes de cette évolution sont d'un intérêt considérable pour l'amélioration des modèles de climat utilisés pour calculer la hausse future du niveau de la mer.

Autres applications de l'observation spatiale à l'étude du système Terre

Déformations de la croûte terrestre et tectonique des plaques

Au cours de la dernière décennie, la mesure depuis l'espace des déformations crustales à différentes échelles spatiales a complètement révolutionné cette discipline. L'imagerie optique des satellites d'observation de la Terre (par ex. Spot, Landsat, etc.)

a permis la cartographie globale des failles actives continentales avec une résolution de quelques mètres. Les déformations des régions sismiques actives étudiées aux frontières des plaques tectoniques ont été largement étudiées à l'aide du système de positionnement GPS avec une précision de l'ordre du mm par an. Depuis une quinzaine d'années, une autre technique, l'interférométrie radar à partir des satellites radar imageurs à ouverture synthétique (par ex. ERS, Radarsat, JERS) s'est avérée extrêmement puissante pour l'étude des déformations crustales co- et post-sismiques, des déformations volcaniques, des déformations des gla-

dés, des glissements de terrain, des subsidences du sol dues au pompage de l'eau, du pétrole ou du gaz, etc.. Un autre résultat important dans ce domaine est la détermination par les techniques de positionnement spatial des mouvements actuels à grande échelle des plaques tectoniques et la découverte que ces mouvements sont identiques à ceux des trois derniers millions d'années.

Variations temporelles de la gravité terrestre

Depuis peu, une nouvelle mission de gravimétrie spatiale (appelée Grace, lancée en 2002), permet de mesurer les

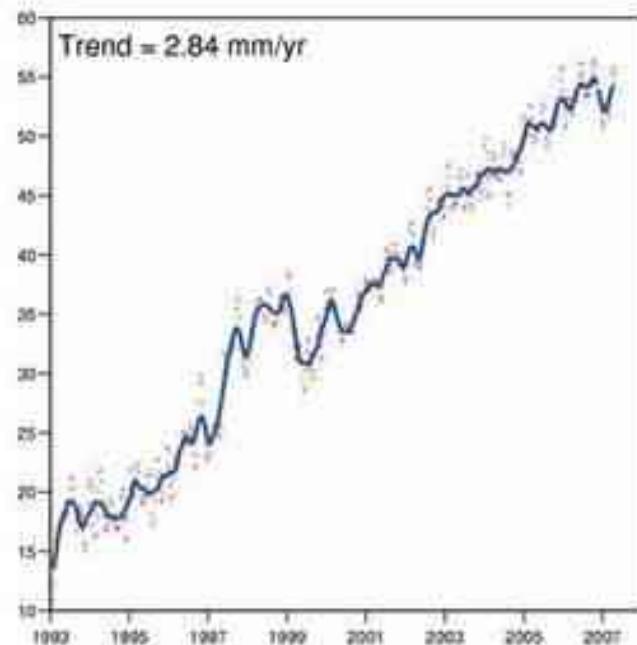


Figure 2a : Courbe d'évolution du niveau moyen de la mer mesuré par les satellites Topex/Poseidon et Jason-1 depuis 1993.
Change of mean sea level measured since 1993 by the Topex/Poseidon and Jason-1 satellites.

LEGOS/CNES (Dec 2006) (trends hbi 1d CLS resample 0.5d)

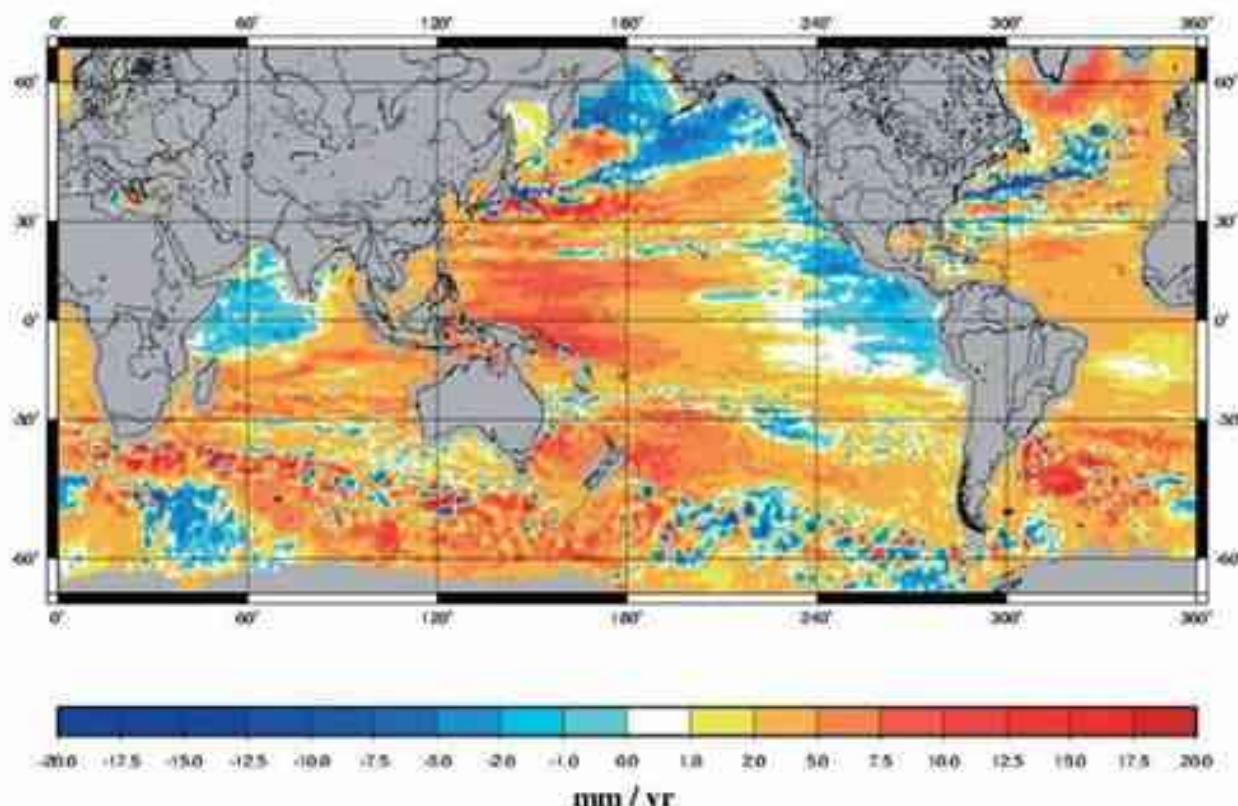


Figure 2b : Carte de la distribution géographique des vitesses de variations du niveau de la mer mesurées par les satellites Tropex/Poseidon et Jason-1 entre 1993 et 2006. Les zones rouges sont des régions où la mer a monté avec une vitesse 5 fois supérieure à la vitesse moyenne. Les zones bleues sont des régions où la mer a baissé durant cette période (Bien qu'en moyenne sur le domaine océanique, c'est bien une hausse qu'on observe).

Fig. 2b—Geographical distribution of changes in sea level between 1993 and 2006, measured by Tropex/Poseidon and Jason-1. Shown in red are areas where the rate of sea level rise was 5 times greater than the global mean. The blue areas are those where sea level fell during this period (although on average over the world oceans, sea level rose).

variations temporelles du champ de gravité avec une précision et une résolution sans précédent, sur des échelles de temps du mois à plusieurs années. Sur de telles échelles de temps, les variations de la gravité sont dues à des redistributions de masses d'air dans l'atmosphère et d'eau dans les océans, l'atmosphère, les réservoirs continentaux et les

calottes glaciaires. Elles résultent aussi de transferts d'eau entre ces enveloppes. Une des principales applications de la mission Grace est de quantifier les variations spatio-temporelles des stocks d'eaux continentales (eau des sols, réservoirs souterrains et manteau neigeux) pour lesquelles il n'existe pas d'observation au sol à l'échelle globale.

Seuls des modèles hydrologiques globaux développés ces dernières années nous renseignent sur ces paramètres. Les observations de la mission Grace permettent pour la première fois de quantifier les fluctuations des stocks d'eaux continentales à l'échelle de la planète, avec d'importantes applications à l'étude du climat et à l'inventaire des ressources en eau (Figure 3).

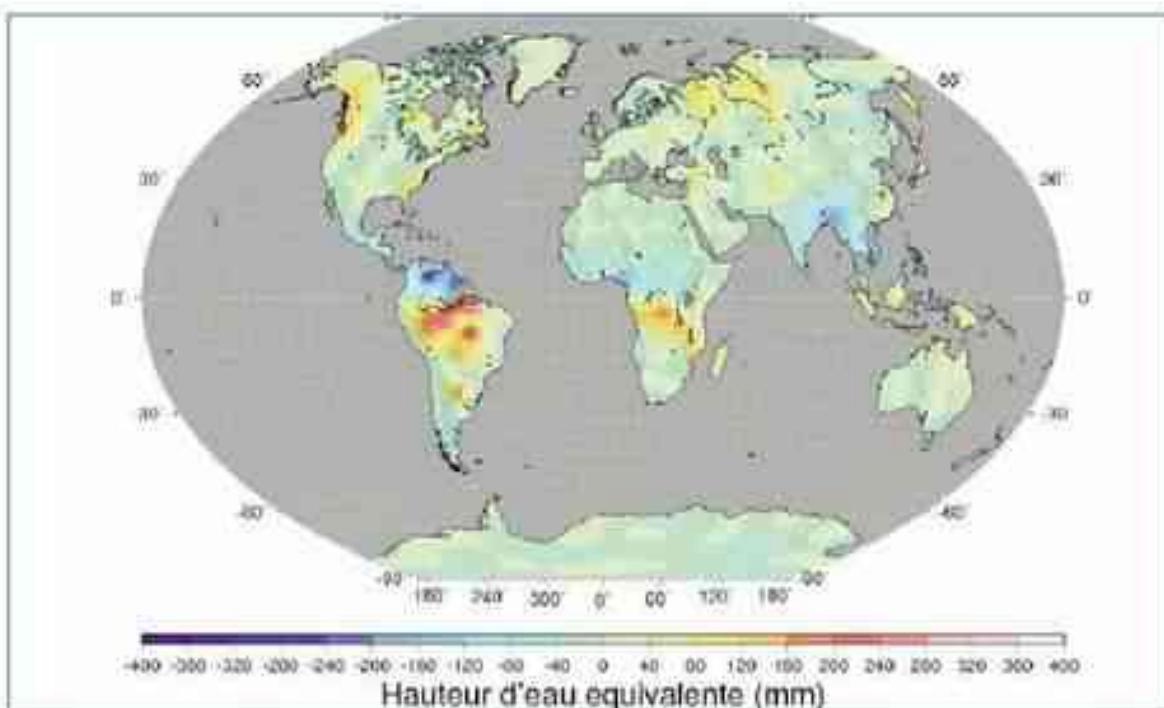
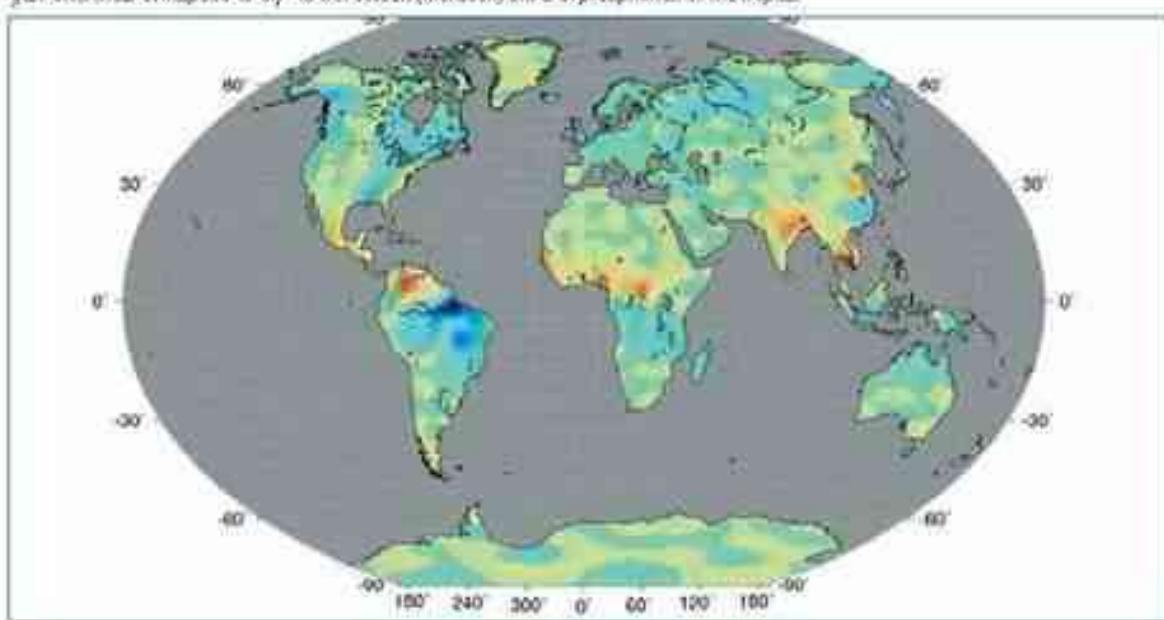


Figure 3 : Stocks d'eau continentale (eau de surface, eaux des sols, eaux souterraines et manteau neigeux) mesurés par le satellite GRACE pour les mois d'avril 2003 (en haut) et octobre 2003 (en bas) exprimés en hauteurs d'eau équivalente (unités : mm). Une moyenne pluriannuelle a été soustraite de façon à mettre en évidence les anomalies. La couleur rouge correspond à un excès d'eau (par rapport à la moyenne pluriannuelle), et la couleur bleue à un déficit d'eau. Les différences les plus fortes correspondent aux déplacements des zones tropicales de précipitations entre saison sèche et saison humide (moussons).

Continental water stocks (surface water, soil water, underground water, and snow cover on land) measured by the GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) satellite in April (Fig. 3a) and October (Fig. 3b) 2003, and given in mm liquid water equivalent thickness. The average over several years has been subtracted so as to reveal anomalies, with red corresponding to an excess of water, blue to a deficit. The strongest differences correspond to dry-to-wet-season (monsoon) shifts of precipitation in the tropics.



Grace permet aussi de mesurer le bilan de masse des calottes polaires (voir plus haut).

Conclusion

Ce brief survol (non exhaustif) de l'apport du spatial à l'observation de la Terre solide et de ses enveloppes fluides montre combien les satellites sont précieux pour étudier la planète et suivre ses évolutions, notamment celles liées aux risques naturels, au changement climatique et à la pression anthropique. Ces nouvelles préoccupations, devant permettre une meilleure gestion de l'environnement terrestre, comptent parmi les enjeux du programme européen GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) dont la mission générale est de développer des services de fourniture d'informations dans le

domaine de l'environnement à l'usage de la société, fondés sur l'utilisation de données *in situ* et spatiales. La communauté française et ses partenaires européens peuvent - et doivent - se mobiliser pour valoriser les produits issus de l'espace (dont certains très nouveaux comme ceux liés à la ressource en eau) dans les différents domaines de l'environnement terrestre. Il s'agit d'un défi important nécessitant une organisation optimisée regroupant chercheurs, industriels et utilisateurs venant d'horizons très divers.

Sites internet :

- <http://www.legos.obs-mip.fr/tr/equipes/gohs/>
- <http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb/>

- www.ipcc.ch
- <http://www.cnes.fr/web/108mediatheque.php>

Ouvrages sur le sujet :

- *Satellite Altimetry and Earth Sciences. A handbook of Techniques and Application*, Lee L. Fu & A. Cazenave Editors, Academic Press, International Geophysics Series, Vol. 69, San Diego, USA, 463 pages, 2001.
- *Formes et mouvements de la Terre : satellites et géodésie*, A. Cazenave et K. Feigl, 160 pages, CNRS Editions, Belin, Paris, 1994.
- *La Terre vue de l'espace*, A. Cazenave et D. Massonnet, 125 pages, Bibliothèque Pour la Science, Belin, Paris, 2004.

Anny Cazenave

Glossaire

Anthropique : Qualifie les phénomènes qui ont pour origine les activités humaines, comme par exemple l'augmentation, depuis le début de l'ère industrielle et surtout depuis 1958, de la concentration atmosphérique du dioxyde de carbone.

Déformation crustale : Déformation de la croûte terrestre par rapport au géoïde, du fait des mouvements de convection dans le manteau en dessous, et des contraintes qui s'exercent aux limites entre les plaques.

Force de Coriolis : Sur un système en rotation, les mouvements ne suivent pas des lignes droites. En plus de la force centrifuge, apparaît la force de Coriolis (Gustave Gaspard Coriolis, mathématicien français, 1792-1843) : les masses d'air et d'eau qui s'éloignent de l'équateur sont déviées vers l'est (donc à droite dans l'Hémisphère Nord, à gauche dans le Sud). Inversement, les corps qui s'approchent de l'équateur sont déviés vers l'ouest. La force de Coriolis est à l'origine des mouvements cycloniques et anticycloniques dans l'atmosphère. Les artilleurs doivent aussi en tenir compte. Pour une illustration, demandez à un enfant sur un manège de vous lancer un ballon.

Géoïde : Une surface d'énergie potentielle gravitationnelle constante, partout perpendiculaire au vecteur de l'attraction gravitationnelle, c'est-à-dire une surface localement horizontale. Si toute la masse de la Terre était concentrée au centre, le géoïde serait une sphère parfaite.

Lithosphère : La couche superficielle de la Terre solide, comprenant la croûte terrestre et la partie superficielle du manteau. La croûte est une couche épaisse de quelques km sous les océans, de quelques dizaines de km pour les continents. Elle est plus rigide et moins dense que le manteau en dessous, de composition chimique différente. La croûte continentale, faite d'une collection de plaques dérivantes, est moins dense que la croûte du fond des mers.

Manteau terrestre : Il s'agit des couches plus profondes que la lithosphère. Il est épais d'environ 3 000 km et comprend à peu près 70% du volume de la Terre. Plus dense et moins rigide que la croûte, il est le lieu des mouvements de convection qui animent l'étalement du fond des mers et la dérive des continents.

Nadir : La direction verticale descendante ; donc, par exemple, la direction du point terrestre juste en-dessous d'un satellite. Au même instant, le satellite passe au zénith de ce point. Les deux mots viennent de l'arabe.

Tectonique des plaques : se réfère aux mouvements et déformations des plaques de croûte continentale, qui se déplacent en fonction des mouvements convectifs du manteau. Ces plaques entrent en collision les unes avec les autres en certains endroits, soulevant des chaînes de montagnes ; elles glissent l'une par rapport à l'autre le long des failles, soit régulièrement soit avec des à-coups générant des secousses (activité sismique). Dans une fosse de subduction, une plaque s'engloutit sous la croûte océanique vers le manteau.

R.K.

Présentation des auteurs

Jacques Blamont, membre de l'Institut, Professeur émérite à l'Université Pierre et Marie Curie, Haut Conseiller Scientifique du CNES, a été longtemps Directeur du Service d'aéronomie du CNRS (Verrières-le-Buisson). Jacques Blamont a joué le rôle moteur dans le développement de la recherche spatiale en France et dans la coopération aussi bien avec l'Union Soviétique (IKI, Moscou) qu'avec les Etats-Unis (JPL, Pasadena).

Auteur de plusieurs ouvrages, notamment *Vénus dévoilée. Voyage autour d'une planète* (Odile Jacob, 1987), et *Introduction au siècle des menaces* (Odile Jacob, 2004).

Roger Maurice Bonnet, directeur de recherche émérite du CNRS, ancien directeur du Laboratoire de Physique stellaire et planétaire (Verrières-le-Buisson ; aujourd'hui devenu l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay), Président du COSPAR (Committee for Space Research), et Directeur Exécutif du International Space Science Institute (Berne, Suisse), Roger Bonnet a été longtemps Directeur des Programmes scientifiques à l'Agence spatiale européenne.

Auteur de *Les horizons chimériques* (Dunod, 1992) et (avec L. Wolter) de *Surviving 1000 centuries. Can we do it ?* (Springer Praxis, 2008).

Anny Cazenave, Membre de l'Institut, Ingénieur du CNES, dirige le Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS) à l'Observatoire Midi-Pyrénées (Toulouse).

Elle est auteur de plusieurs ouvrages, dont (avec K. Feigl) *Formes et mouvements de la Terre* (Belin, 1994), et (avec D. Massonnet) *La Terre vue de l'espace* (Belin, 2004).

Robert Kandel, directeur de recherche émérite du CNRS au Laboratoire de Météorologie dynamique, à l'Ecole polytechnique (Palaiseau). Astrophysicien de formation, Robert Kandel s'est tourné en 1978 vers la recherche sur les climats, en particulier l'observation spatiale du bilan radiatif de la Terre.

Auteur de plusieurs ouvrages, notamment *Les Eaux du Ciel* (Hachette, 1998), et *Le réchauffement climatique* (P.U.F., Que sais-je ? 2008).



ILE-DE-FRANCE



LES CONFÉRENCES

La conférence préparatoire à la visite du château de Fontainebleau, qui devait avoir lieu au début du mois de mai, a été avancée au mardi 15 avril, l'auditorium devant être libre le jeudi 6 mai pour l'Assemblée générale. En raison des vacances, la prochaine conférence aura lieu au mois d'octobre.

LES VISITES

En raison du nombre important de demandes (plus de 150 par visite), elles sont réservées aux adhérents et à leur conjoint. Une inscription préalable auprès du secrétariat est nécessaire.

Le château de Fontainebleau

Les jeudi 15 et lundi 19 mai étaient prévus.

En raison des mouvements sociaux, la visite du jeudi 15 a dû être annulée et ne pourra être remplacée qu'après les vacances. Les adhérents inscrits seront prévenus dès que le château nous aura fixé une nouvelle date. La visite du lundi 19 est maintenue.

Proche de Paris, situé au milieu d'une forêt propice à la chasse, Fontainebleau attire très tôt les souverains. L'histoire du château commence au XII^e siècle avec une modeste construction de Louis VII et va jusqu'au milieu du XIX^e avec les modifications apportées par Napoléon III et la construction du théâtre. Durant ce laps de temps, la plupart des souverains tiendront à marquer leur intérêt pour le château, s'attachant à le modifier, l agrandir et

dans tous les cas, l embellir. Il en résulte un ensemble surprenant de bâtiments imbriqués ou juxtaposés, mais toujours richement décorés. Napoléon I^e qui, lui aussi, lui a marqué son attachement, pourra dire que le château de Fontainebleau est la «vraie demeure des rois, la maison des siècles».

Nous en visiterons trois sites importants :

La galerie François 1^e, dite Grande Galerie, élevée en 1528, par Gilles Le Breton après le retour du roi de sa captivité à Madrid. Sa décoration est confiée à des artistes italiens célèbres : le Rosso, le Primatice... Par ses dimensions et la richesse de son décor (fresques, grandes peintures, stuc et lambris s'y côtoient) elle deviendra le prototype des grandes galeries qui orneront les palais royaux.

La chapelle Saint-Saturnin, élevée par Louis VII, reconstruite de 1541 à 1545 par François 1^e et maintes fois remaniée. Elle comprend la chapelle haute, destinée au roi et à sa suite et la chapelle basse destinée à la domesticité.

Le théâtre Napoléon III, interdit au public, mais ouvert à notre intention, construit sous le second Empire, de 1854 à 1857, par Hector Lefuel. Il est conforme à la tradition versaillaise, mais possède une originalité et une beauté exceptionnelles : un décor de roses peintes qui recouvre entièrement les appuis du 1^e balcon.

Le groupe comprendra 50 personnes qui seront réparties en deux groupes pour la visite. Ils seront guidés par deux conférencières du château. Un car sera mis à la disposition des participants.

La roseraie de L'Hay-les-Roses

Les mercredi 4 et jeudi 12 juin à 14 heures 30

Située au cœur de la ville, en lisière d'un parc aux arbres centenaires, cette roseraie compte plus de 13 000 rosiers, comprenant plus de 3000 espèces. Elle a été créée en 1899 par un grand amateur de rosiers : Jules Gravereaux. Soucieux de préserver sa prestigieuse collection, il demande à un paysagiste de lui dessiner un jardin où les rosiers constitueront à eux seuls l'intérêt du paysage. C'est alors la

première roseraie du monde. Elle ne cessera de s'enrichir. Dès 1910, elle comporte toutes les formes connues du genre Rosa et devient un lieu d'accueil, de présentation, de conservation, d'une collection végétale.

Grande innovation, les rosiers sont présentés dans des massifs qui respectent la progression historique. Nous découvrirons ainsi successivement les roses sauvages, les roses galloques (de l'Antiquité au XVII^e siècle), les roses de la Malmaison, celles d'Asie, etc... Toutes « mises en scène » par l'art du paysagiste. Dans cette roseraie, on ne visite pas les roses, on vit au milieu d'elles.

Chaque visite comprendra 50 personnes, réparties en deux groupes guidés par des jardiniers spécialisés. Un car sera mis à la disposition des participants.

**Une nouvelle découverte de Versailles :
les Grandes eaux**

**Les samedis 14 et 21 juin de 15 heures 30
à 17 heures.**

Madame Lavasseur, conférencière dont nous avons apprécié l'érudition lors de notre visite de l'exposition « Quand Versailles était maubillé d'argent », m'a fait savoir qu'elle organisait des visites des « Grandes eaux ». Après avoir consulté certains d'entre vous, j'ai retenu sa proposition. Non seulement le spectacle est grandiose mais, depuis cette année, la promenade entre fontaines et bosquets est accompagnée de musique, versaillaise du grand siècle, bien entendu.

Grâce à notre guide, nous pourrons effectuer le cheminement nécessaire pour admirer le maximum de sites. Nous aurons également des commentaires sur les différents bassins et fontaines et des explications sur les prouesses techniques que représentait, au XVII^e siècle, la réalisation de tels jeux d'eau.

Une occasion de découvrir un nouvel aspect de la magnificence royale à Versailles. Nous ne pourrons malheureusement accepter que 25 personnes par groupe.

Hélène Charneau

LANGUEDOC-ROUSSILLON



Une permanence hebdomadaire est assurée à notre antenne régionale les lundis après-midi, de 14 h 30 à 19 h 30, y compris durant les périodes de congé. Le local de l'Association est situé dans le Bâtiment Accueil de la Délégation Régionale, 1919, Route de Mende, à Montpellier. Tel : 04.67.61.22.64.

Nos activités :

Science et société : Passport pour la science en Languedoc-Roussillon 2007 - 2008 :

Il s'agit d'une opération rattachée à l'action nationale « Passion Recherches ».

Notre Association est co-partenaire du Protocole d'accord concernant l'atelier scientifique « Chimie et environnement : arômes et parfums ».

* Les élèves de 4^e du Collège Marcel Pivert de Marvejols (Lozère) présenteront publiquement les résultats de leur activité au sein de cet atelier, le vendredi 16 Mai 2008, sur le campus de l'Université Montpellier 2. Cette présentation au niveau Région Languedoc-Roussillon, a lieu en prélude à la 3^e édition du concours national « Faites de la Science ».

Le concours régional en Languedoc-Roussillon est organisé par l'Université Montpellier 2 en partenariat avec le CNRS et l'Académie de Montpellier.

Ce concours constitue une opportunité privilégiée pour permettre aux élèves de présenter eux-mêmes leur travail, lors d'un forum, dans un campus scientifique.

Un projet intitulé « l'huile peut-elle laver ? », dans lequel « Rayonnement du CNRS » en Languedoc-

Roussillon était également co-contractant en 2007, avait été distingué par un 3^e prix.

Nos visites récentes :

19 Mars 2008 : Idenix Pharmaceuticals - Montpellier.

Idénix Pharmaceuticals est une société biopharmaceutique dont le cœur du métier concerne la recherche et le développement de nouveaux traitements antiviraux.

Idénix regroupe environ 200 personnes dans le monde, sur 3 sites :

- à Cambridge (Etat du Massachusset-USA), se trouvent l'administration, le criblage sur petits animaux et la synthèse de l'ordre du Kg ;
- à Montpellier, une soixantaine de personnes s'attachent à la conception et à la synthèse, en petites quantités, de nouvelles molécules actives - il s'agit là de chimie ;
- en Sardaigne sont situés les laboratoires de virologie et de criblage sur milieu culture cellulaire (partenariat avec l'Université de Cagliari).

Les laboratoires d'Idénix en Languedoc-Roussillon occupent 3000 m², mis à leur disposition par la Communauté d'Agglomération de Montpellier, depuis mai 2005, dans l'Hôtel d'Entreprises Cap Gamma.

L'objectif d'Idénix, créé en 1998, était de découvrir de nouvelles molécules pour le marché, encore peu exploité, des antiviraux destinés aux diverses hépatites, au VIH (virus de l'immuno-déficience humaine) et autres maladies virales émergentes (dengue, West nile...). A titre d'exemple, l'hépatite B, qui se transmet par le sang (il suffit de 0,0004 ml !), est à l'origine du décès de plus d'1 million de personnes par an et 350 millions de personnes en sont porteurs chroniques. 80% des cancers primaires du foie sont imputables à cette chronicité.

Comment inhiber le virus porteur de la maladie, comment stopper, voire inverser la progression de ses méfaits, cette question ne pouvait qu'attirer l'attention des chercheurs de l'UMR 5625, créée en

1971 par le Pr J-L Imbach, reprise en 1999 par le Dr Gilles Gosselin, DR au CNRS ; les nucléosides étaient leur point fort.

C'est le Dr Gosselin, lui-même, qui nous a reçus. Il nous a fait découvrir le cheminement du projet, «de la paillasse de laboratoire à l'industrie pharmaceutique», aboutissant à la conception et à la synthèse d'un nouveau principe actif : la telbivudine, analogue nucléosidique. Celui-ci est propre à se substituer à la lamivudine (Zeffix®), molécule antérieure à laquelle le virus de l'hépatite B est devenu résistant. La telbivudine (Novartis a été associé aux études de phase III* en 2003) est déjà commercialisée aux USA (Tysek®) ; elle devrait l'être en France dans environ un an, temps nécessaire aux diverses autorisations. Cette nouvelle substance agit par réduction rapide de la charge virale, avec très forte diminution des taux de l'ADN du virus, et un développement de résistance amoindri par rapport à l'existant.

Quant au traitement de l'hépatite C, maladie devenue chronique pour plus de 170 millions de personnes dans le monde (soit beaucoup plus que pour le VIH), et pour laquelle n'existe à ce jour que le traitement couplé Interféron/Ribavirine, Idénix détient 3 nouvelles molécules prometteuses, de faible poids moléculaire, actuellement en phase d'études précliniques*.

Idénix est, en fait, convaincu que les associations de molécules de petit poids moléculaire sont cruciales pour la prise en charge efficace de l'hépatite C; tout comme dans le cas de l'infection au VIH, pour laquelle Idénix a également identifié une nouvelle substance, non nucléosidique cette fois, actuellement en phase II*. Le traitement serait possible par simple voie orale.

* Les essais précliniques concernent les essais *in vitro* et *in vivo*.

Les essais cliniques concernent les essais systématiques d'un principe sur l'homme (volontaires sains ou malades). Ils sont répartis en 4 phases ; il s'agit à la fois d'en vérifier les effets, d'identifier tout effet indésirable, d'en apprécier l'efficacité et la sécurité d'utilisation.

* La phase I se fait sur un petit nombre de volontaires sains (tolérance, pharmacocinétique).

- La phase II se fait sur un petit groupe de patients (efficacité, doses, interactions)
- La Phase III se fait sur plusieurs centaines de patients par essais comparatifs en double aveugle (efficacité, rapport bénéfice/risque). Constitution du dossier d'AMM (autorisation de mise sur le marché du médicament avec définition des conditions d'emploi)
- La phase IV concerne le suivi du médicament après l'AMM (pharmacovigilance).

17 Avril 2008 : le musée Archéologique Henri Prades, à Lattes.

Lattes (l'antique Lattara, fondée dans la seconde moitié du VI^e siècle avant notre ère) est située en bordure d'un étang littoral à deux kilomètres de la Méditerranée et au contact d'un bras du fleuve côtier Lez. Dès le début de l'âge du Fer, y existait un port lagunaire (et non de pleine mer). On a découvert récemment une vaste terrasse portuaire d'époque romaine se surimposant à un rempart du Ier siècle avant notre ère et à un quai du début du IIe siècle avant notre ère. Et qui dit port, dit relations commerciales avec les navigateurs. Ainsi, parmi les aménagements mis en place à l'époque d'Auguste, on trouve de vastes hangars pour le stockage du vin en vrac, avant redistribution dans des amphores.

Par ailleurs, le simple habitat a laissé, au travers de découvertes de céramiques, monnaies et autres objets d'importation, une masse considérable d'éléments divers apportant des informations sur l'évolution, qualitative et quantitative, du commerce méditerranéen.

Au Moyen Âge, Lattes deviendra le port de Montpellier. Ce site exceptionnel se développe sur 10 hectares d'une réserve archéologique acquise par l'Etat, la Commune de Lattes et le Conseil Général de l'Hérault. Il s'agit là d'un gisement clef pour l'étude conjointe de l'évolution propre de la société indigène et des influences des apports méditerranéens. Les mêmes organismes ont uni leurs efforts pour construire un Musée archéologique (qui présente une collection d'objets issus des fouilles menées sur le site même), établir un centre de recherche et un dépôt de fouilles issues d'autres Institutions (Société Archéologique de Montpellier, Le Musée du Louvre, l'Unesco...) ou de collections privées.

Les salles d'exposition du Musée, réparties sur 1200 m² sur 3 niveaux, nous ont proposé un parcours archéologique à la fois chronologique (du néolithique, avec le développement de la civilisation chasséenne - 4000 à 3500 ans avant notre ère - jusqu'à l'Antiquité tardive - V-VII^e siècle - et le Moyen Âge) et thématique, afin de découvrir les collections : céramiques, urnes en verre parfaitement conservées, superbement décoratives, objets usuels, outils, vaisselles, bijoux, lampes à huile, monnaies d'or ou d'argent, sculptures antiques, stèles funéraires, objets de la nécropole Saint-Michel des II^e et IV^e siècles où 76 tombes furent découvertes...

Ce fut, en fait, un véritable voyage dans le temps, à la recherche et à la découverte de nos ancêtres, que nous avons effectué, accompagnés par les commentaires de notre collègue Michel Feugère (UMR 5140), Directeur de l'équipe « Techniques - Productions - Consommations ».

Prochaine visite :

Mercredi 28 Mai 2008 : Journée à Odeillo (Pyrénées Orientales)

- 10h30 : Visite du site du Four Solaire ;
La situation géographique d'Odeillo (à 1500 m d'altitude, non loin de Perpignan) permet 3000 h/an d'ensoleillement, avec un très faible hygrométrie. Le flux solaire direct varie entre 800 W/m² et 1050 W/m² dans le meilleur des cas. Le réflecteur parabolique, éclairé par 63 héliostats plans installés sur 8 terrasses, permet de mener des expérimentations à 18 m devant la parabole, la gamme de température allant couramment de 800 à 2500°C (pouvant même atteindre 3800 °C). Il permet d'étudier a) les interactions hauts flux solaires - matière ; b) les matériaux pour l'énergie ; c) la conversion, le stockage et le transport de l'énergie.

- Repas de midi sur place ;
- 14h00 : Visite du site de Thémis.
Sur le site de l'ancienne centrale à tour solaire de Targasonne, une opération à l'échelle pilote, préfigurant l'un des types de centrale solaire de troisième génération, a pour but la mise en

place et l'expérimentation d'un prototype de centrale solaire à haut rendement, dans le cadre du projet PEGASE (Production of Electricity from Gas and Solar Energy). On en attend de hauts rendements de conversion et ce pour un faible coût de l'électricité produite.

Les deux visites seront accompagnées par les responsables scientifiques des sites.

Françoise Plénot

LIMOUSIN - AUVERGNE



Le projet «volcans d'Auvergne» qui avait été proposé, il y a quelques années et abandonné par manque de participants, s'est finalement réalisé le week-end de la Pentecôte 2008. 25 personnes se sont donc retrouvées pendant quatre jours dans un gîte situé à MURAT-LE-CAYRE. Trois randonnées ont été organisées, en compagnie de guides et de volcanologues. Le premier soir Antoine Trémolières présentait sa «conférence» intitulée : «L'homme et le manteau vert» qui est une réflexion sur les grands cycles biologiques (photosynthèse et respiration principalement) et sur la nécessité absolue, pour l'homme, de respecter ces équilibres fondamentaux. C'est évidemment une question d'actualité et le débat fut passionnant.

Le second soir, après une journée de balade entre les roches Tuyière et Sariadrière (deux magnifiques volcans produisant ces fameuses roches appelées phonolites) le groupe «charpe en voix» enchantait la compagnie avec ces mélodies et chants d'inspiration celtique.

Le troisième jour, nous découvrions le Puy de la Vache et le Puy de la Solaz dans la chaîne des puys. Le troisième soir, un groupe de musique traditionnelle creuseuse «la Galinette» (c'est-à-dire «la petite

poule») nous initiait aux bournées, scottish, mazurka, polka et autres danses du Limousin avec accordéon, violon, cornemuse,

Le dimanche de Pentecôte, nous parcourions la vallée de Chaudefour en compagnie d'un guide volcanologue du club de volcanologie de la Bourboule.

George Jeminet et Antoine Trémolières se proposent pour organiser au printemps 2009, un week-end de trois jours dans la région dijonnaise. Au programme : une visite des usines Michelin ; la visite de Vulcana et la visite d'une ou de quelques-unes de ces magnifiques églises produites par le roman auvergnat. De plus amples renseignements vous permettant de vous inscrire vous seront donnés ultérieurement.

Le projet d'une conférence Teillhard de Chardin n'est pas abandonné, mais il est proposé de la réaliser à Paris, vraisemblablement au Muséum d'histoire naturelle, de façon à permettre au plus grand nombre d'y assister.

Antoine Trémolières

PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR



L'année 2007-2008 avait commencé dès la mois de septembre 2007 par une visite d'Aigues Mortes et de la Camargue au fil de l'eau, en novembre visite du Fort Balaguier et de la villa Michel Pacha à la Seyne-sur-Mer et en décembre visite des Forts de Marseille.

En Janvier et Février 2008, nous avons organisé deux conférences, de Gerlind Sulzenbacher : « Du sang universel à l'aide de glycosidases bactériennes » et de Gérald Duriez : « Etude des dessins érotiques de la Gaule Romaine ». Les résumés ont été publiés dans le précédent bulletin (n° 47 de mars 2008).

Puis nous avons repris les sorties : le 20 mars, Cornillon-Confolens et le 24 avril, le Harras de Fabre et le théâtre antique d'Orange avec son splendide mur de scène. L'année se terminera le 22 mai par une visite de l'île des Embiez et l'institut océanographique Paul Ricard.

Jeudi 7 Septembre 2007 : Aigues-Mortes et la Camargue au fil de l'eau

La création de la ville d'Aigues-Mortes est attribuée à Marius Caius aux alentours de 102 avant JC ; mais c'est au XIII^e siècle que le monde a les regards tournés vers cette ville. À cette époque, Louis IX doit partir en croisade avec les autres souverains d'Europe pour reprendre Jérusalem. La ville n'étant pas un port mais située sur les rivages d'une immense lagune,



Aigues-Mortes : la Tour de Constance

Louis IX lui octroie des avantages particuliers, et construit une chaussée endiguée au travers des marais défendue par la tour Carbonnière ; et il embarque en 1248 pour la 7^e croisade. Saint Louis fait aussi construire le Tour de Constance. En 1270, Saint Louis s'embarque pour la 8^e croisade qui sera aussi sa dernière puisqu'il décèdera peu après du typhus au large de Tunis. La Tour Constance deviendra une trop célèbre prison : elle enfermera entre ses murs le neveu de Saint-Louis, d'illustres personnalités de l'époque, des templiers, des camisards, des bonapartistes ou des femmes protestantes... Un petit train nous a fait faire la visite intra et extra muros pendant que le guide nous racontait avec maintes anecdotes le passé de cette petite ville.

Après un déjeuner en ville, nous avons embarqué sur la péniche Pescalune et nous avons navigué pendant plus de deux heures entre de magnifiques pins parasols, des cabanes de gardians, des champs où paissaient des taureaux et les blancs chevaux de Camargue. Sur notre passage, des nuées d'oiseaux tournoyaient autour du bateau et c'est avec regret que nous avons accosté au pied de la Tour de Constance pour reprendre le chemin du retour.

Jeudi 15 Novembre 2007 : La Seyne-sur-Mer, avec le Fort Balaguier et la villa de Michel Pacha

C'est en 1634 que le Cardinal de Richelieu obtient de Louis XIII la construction d'une nouvelle tour sur la pointe de Balaguier afin de mieux sécuriser la ville royale de Toulon qui n'était protégée que d'un côté par la «Tour Royale». En 1679 Vauban, alors Commissaire aux Fortifications, proposa de renforcer la tour à canons. Balaguier se voit doté de remparts, de murs, de logements et de poudrières qui donnent à son fort son aspect actuel. En 1793, le Fort de Balaguier est occupé par les Anglais et c'est Napoléon Bonaparte, alors jeune commandant de l'Artillerie Républicaine, qui réussit à investir le Fort le 17 décembre 1793 et obligé la flotte anglaise à se replier. Occupé par les Allemands en 1942, le fort est libéré en 1944. Il devient à partir de 1970, le musée d'Histoire maritime et locale.

Au départ le Fort Balaguier était un fort à batterie haute : destiné à faire feu dans les gréements de la marine à voile. La tour comporte en sous-sol une citerne et des

magasins, surmontés d'un logement voûté pour la garnison, qui supporte une terrasse à canons. Ultérieurement une batterie rasante avec parapets à embrasures est construite de part et d'autre de la tour. Du côté de la terre, la position est protégée par un mur crénelé à redan modifié au XIX^e siècle.

Après un déjeuner au bord de la mer et quelques flocons de neige, on est allé visiter la Villa Tamaris. A partir de 1880, le quartier de Tamaris, jusque-là quartier agricole, devient un lieu de villégiature coté, grâce à l'intérêt que lui porte Michel Pacha. Cet Officier de la Marine marchande, bâtisseur des phares de l'Empire Ottoman, a fait fortune ; séduit par Tamaris où il retrouve les paysages du Bosphore, la lumière de la Grèce et de l'Italie, il décide d'y installer une station balnéaire comme on les recherchait à l'époque à la fin du XIX^e siècle. Les travaux de la villa Tamaris Pacha commencent et ne seront jamais achevés. Sa restauration en 1991 est due à la Ville de la Seyne. La villa est actuellement un Centre d'art qui propose des expositions d'artistes représentatifs des courants et tendances de l'art actuel, nous avons d'ailleurs profité de l'exposition du peintre Hugues Weiss.

Jeudi 13 Décembre 2007 : Marseille au temps des forts et autour du Vieux Port

La visite commence par le Fort St Nicolas. Il est séparé en deux parties : le fort haut qui surplombe les tunnels appartient encore à l'armée. Le bas-fort, qui domine le vieux Port, se compose principalement d'habitations et d'un mess des officiers. Cette citadelle a été coupée en deux par



Marseille : le fort Saint-Jean vu depuis le fort Saint-Nicolas

Napoléon III qui a ordonné les travaux routiers. C'est Louis-Nicolas de Clerville, prédecesseur de Vauban, qui fit réaliser le fort sur des plans en étoile. Il est aussi à l'origine du fort St-Jean qui lui fait face. Accolée au fort, la tour carrée dite du Roi René lui est antérieure (XV^e s.). Cette tour a accueilli les expositions du Musée national des civilisations d'Europe et de Méditerranée et du haut de la tour on peut profiter d'une vue imprenable sur Marseille et l'entrée du port.

jeudi 20 mars 2008 : Cornillon-Confoux

Souvent appelé le « Balcon de l'Etang de Berre », c'est un village perché d'origine celte-ligure sur un bel éperon rocheux dominant les alentours d'une façon abrupte de plus de 50 m. Son histoire est liée aux tribus de l'âge de fer puis aux influences grecques et romaines. Au début du XI^e s., les moines de Montmajour établissent un prieuré hors des murs et organisent la vie du village qui s'agrandit de plusieurs chapelles et d'une église. À cette époque le « Bastion »



Marseille : les deux fortifications qui gardent l'entrée du Vieux Port depuis Louis XIV



Cornillon : borie en pierre sèche

était entouré de marécages et leur assèchement a permis la mise en culture de la plaine et le défrichement des collines. Au XV^e s., le prieuré ferme faute de moines, les terres sont bradées et l'on voit une caste nouvelle s'installer : meuniers, mouliniers, forgerons ; c'est l'ère d'une bourgeoisie qui construisit des bastides dont les noms perdurent.

Le terroir de Cornillon est étonnant par l'abondance de constructions en pierres sèches : bories (une centaine, qui servaient autrefois de lieu de repos et d'abri aux bergers), mur à abeilles (56 niches sur une longueur de 60 mètres, c'est le deuxième en importance en France) et murs imposants dont il reste à déterminer le début de leur construction et leur destination exacte.

Jeudi 24 avril 2008 : Le Haras de Fabre ; Orange et son théâtre antique

Ouverte le 18 mai 2006, le jardin et la maison de Jean Henri Fabre a été restaurée en «maison de mémoire» par le Muséum national d'histoire naturelle. Première «maison de mémoire» d'un naturaliste à être rénovée en France, ce domaine dans lequel Jean Henri Fabre vécut de 1879 à 1915, au cours de 36 dernières années de sa vie, a bénéficié

d'une restauration exemplaire. On peut retrouver le jardin riche de 20 arbres historiques et de 500 espèces végétales différentes, dans lequel le naturaliste fit bon nombre de ses observations sur les plantes et les insectes. Son cabinet de travail abrite ses collections de fossiles, ses manuscrits, ses aquarelles, ses herbiers, ses outils de récolte et la petite table sur laquelle furent écrites des milliers de pages et notamment ses «Souvenirs entomologique».

Après un déjeuner dans un petit restaurant niché au fond d'une grotte à deux pas du théâtre antique d'Orange, nous sommes entrés dans un des plus grands théâtres de la Rome impériale et sommes restés ébahis devant le mur de scène au décor somptueux.

Informations pratiques

Une permanence est assurée tous les lundis de 14 à 17 h au bureau 104 du bâtiment A du CNRS, 31 chemin Joseph Aiguier, à Marseille, tél : 04 91 16 46 51, et nous vous rappelons également notre adresse électronique : ascodev@dr12.cnrs.fr

Huguette Lafont et Delphine Bonsignour

Les voyages

Bavière et Tyrol - du 9 au 15 mai 2007

Mercredi 9 mai 2007. Un avion au départ de Roissy emporte notre groupe à Munich. Nous gagnons ensuite Salzbourg en car, par temps pluvieux, avec notre aimable chauffeur, Willi et notre jeune guide-accompagnatrice, Liliane. Notre hôtel, à la sortie de Salzbourg, est calme et confortable ; les repas du soir, pris à quelques dizaines de mètres de là, fort agréables.

Notre visite de la ville commencera le lendemain matin.

Jeudi 10 mai 2007. Le temps est radieux. Nous voyons de loin la forteresse Hohensalzburg, construite en 1077, dominant la ville. Cette forteresse symbolisait le pouvoir temporel des princes archevêques. Les notables religieux, qui voulaient faire de Salzbourg la Rome du Nord, y ont fait bâtir de somptueux édifices. Sur la Residenzplatz, la fontaine construite par leurs soins est considérée comme la plus grande et la plus belle fontaine baroque hors d'Italie. La «vieille résidence des princes», avec son carillon, est actuellement utilisée par l'université.

Un guide touristique indique avec raison que, «à Salzbourg, tout contribue à créer une atmosphère de tendre légèreté : la beauté des ruelles médiévales, le travail raffiné des artisans forgerons et surtout la présence obsédante du génie de ces lieux : Wolfgang Amadeus Mozart».

Au cours de notre promenade dans la ville, nous rencontrons heureusement un grand nombre de ces souvenirs : sur la Grande Place, une statue du musicien, dans le vieux quartier, la maison où il est né, rue des Enseignes, celle où il s'est installé plus tard, le café Tomaselli où se rendaient le père de Mozart et ses fils... Une bouchée en chocolat a même été créée et proposée aux touristes à la mémoire du musicien, alors que ce dernier a tant souffert de l'incompréhension du prince archevêque Colloredo !

La citation de tous les lieux visités dans la ville dépasse le cadre de ce bref récit, cependant, il convient de mentionner la remarquable cathédrale de style baroque italien, due à un artiste de Florence, dédiée à Pierre et Paul et construite après

un incendie de la cathédrale médiévale. La coupole de l'édifice actuel a été reconstruite après sa démolition en 1944.

Nous passons devant le palais du festival, au pied de la citadelle et visitions le cimetière St-Pierre, le plus ancien de la ville, très touchant.

Puis le déjeuner nous attend dans un restaurant à flanc de rocher.

De la ville même, nous avons aussi visité, en fin d'après-midi, les jardins du château de Mirabel que l'archevêque Wolf Dietrich von Raitenau fit construire pour loger sa maîtresse Salomé von Alt et leurs quinze enfants.

(Notre charmante guide a, par la suite, profité du nom de ces personnages pour faire travailler nos mémoires et les ranimer... tout en jouant, pendant les plus longs déplacements).

En début d'après-midi, nous partons en car au Salzkammergut, traversons St Gilgen, où est née la mère de Mozart puis visitions brièvement Bad Ischl lieu de la rencontre de François-Joseph et de Sissi en 1853, commémorée par une plaque. Leur résidence était la «Kaiservilla» que nous apercevons à travers les arbres du parc. Nous continuons la route jusqu'au lac de St Wolfgang.

Nous dégustons un goûter enchanteur au bord du lac, servi par de charmantes jeunes filles en «dimilles».

Nous prenons le bateau, passons devant l'hôtel Weiss Rössl, situé près de l'église, c'est celui de l'œuvre célèbre «l'auberge du Cheval Blanc». La promenade, jusqu'à St-Gilgen, ne manque évidemment pas de charme. Le retour en car à Salzbourg nous fait longer le lac Mondsee, dominé par le mont abrupt du Drachenwald.

Vendredi 11 mai 2007. Notre journée commence par la visite d'une mine de sel à 110 m sous terre, située à Berchtesgaden et exploitée à partir de 1717. Indépendamment de l'intérêt de cette visite sur les plans documentaire et historique, un aspect ludique y a été développé pour les nombreux touristes. En effet, ceux-ci sont d'abord invités à revêtir des éléments

vestimentaires dont l'usage n'est pas d'emblée évident. Ensuite, ils sont priés de descendre dans la mine en empruntant un toboggan. La documentation affichée est bien préparée, cependant, énoncée par haut-parleur, elle n'est pas très facile à suivre du fait de l'affluence de touristes de différents pays.

L'après-midi nous nous rendons au «nid d'aigle» de Berchtesgaden. Cette montée se fait en partie en car et le reste, en navette spéciale puis en ascenseur. Le paysage est magnifique. Dans le bâtiment construit pour Hitler des photographies prises pendant sa construction sont présentées. On peut monter plus haut à pied d'où l'on jouit d'une vue étendue sur toute la région. En dépit de la beauté alentour cette visite laisse, au moins à quelques-uns d'entre nous, un malaise qui s'évacue lentement pendant la descente.

Une promenade en bateau est prévue sur le Königsee. Un employé joue du cor pour nous faire entendre l'écho au milieu de ces hautes montagnes. Nous passons devant une cascade. Faut-il dire encore la beauté de la nature, qui nous comble ? Nous faisons halte au bout du lac où se trouve une ravissante petite église : St-Bartholomée.

Samedi 12 mai 2007. Au programme d'aujourd'hui, la visite du château d'Herrenchiemsee puis un changement de résidence qui nous conduira au Tyrol.

A la descente du car à Prien nous prenons un bateau pour nous rendre au château. Du débarcadère, en calèche ou à pied dans le parc, par très beau temps, nous arrivons tous à l'heure pour la visite. Le nombre de visiteurs est tel, en effet, dans tous les châteaux de Louis II que les horaires y sont étroitement réglementés quant à l'heure d'entrée et à la durée de la visite guidée. Il est vrai que les groupes se succèdent immédiatement de salle en salle. Nous arrivons face à la large façade devant la fontaine de Latone.

La construction du château a débuté en 1878 mais tous les plans d'embellissement



Château d'Herrenchiemsee

n'ont pas été conduits à terme : 25 des 70 salles seulement ont été achevées. Par ailleurs Louis II n'y séjouma que très peu. La visite qu'il avait faite du château de Versailles l'avait beaucoup impressionné : on retrouve ici, par exemple, une «galerie des glaces», une antichambre dite «à l'œil de boeuf», une «chambre à couver de parade» ainsi qu'un buste de Louis XV et un de Marie-Antoinette ; mais aussi... un lustre en porcelaine de Meissen par exemple. A noter, une table escamotable qui permettait au roi de se faire servir ses repas sans avoir de personnel autour de lui. Un musée présente des souvenirs de Louis II.

Nous reprenons la route. De jolies bourgades se succèdent : Gratenbach, Kufstein, (rattaché au Tyrol en 1504), surplombée par la forteresse du même nom où se trouve le plus grand orgue en plein air du monde..., le célèbre «Orgue des Héros», Rattenberg avec ses fortifications impressionnantes et réputé pour le travail du verre. A gauche la vallée du Zillertal, à droite le château de Tratzberg...

Notre hôtel est situé dans le village d'Axams, équipé pour recevoir des familles en hiver, si bien que plusieurs d'entre nous se trouvent disposer de suites.

Notre groupe se réunit pour la soirée autour de Jean-Patrick Connerade, notre physicien-poète passionné de Louis II de Bavière dont la personnalité multiple et le destin tragique l'ont toujours fasciné. Il a su nous faire partager sa passion et après sa conférence notre perception de Louis II a été modifiée profondément.

Son exposé nous a rappelé la politique européenne à laquelle ce souverain s'est trouvé confronté.

D'autres aspects de ce roi si controversé apparaissent, ô combien importants et peut-être même décisifs par rapport à sa vie et à sa mort et même par rapport à l'Histoire.

Dimanche 13 mai. Nous partons ce matin vers Füssen par le col du Fempass à 1209 m. Du car nous voyons à gauche la ville de Starns où les skieurs s'entraînent au saut sur tremplin. Nous passons la frontière entre Autriche et Allemagne. Notons-le une fois, juste pour nous souvenir que cela nous est arrivé bien souvent au

long de notre voyage et sans que nous nous en rendions compte, car ce n'est repérable que par la lecture d'un panneau sur le bord de la route. Un tunnel de 5 km nous conduit à Füssen, remarquable par sa forteresse des princes-évêques.

Hohenschwangau, comme son nom le suggère, est situé sur un piton rocheux. A ses pieds se trouve le lac Alpsee. Le château apparaît, tout jaune dans la verdure. Il a été reconstruit par le prince héritier Maximilien de Bavière en 1834 sur l'emplacement d'un autre, du 12^e siècle. Louis II et son frère Otto y ont souvent séjourné lorsqu'ils étaient enfants. Le château a été habité jusqu'en 1912.

Comme toujours, certains montent la pente d'accès en calèche, les autres à pied.

Le premier étage était initialement dévolu à la reine Marie, mère de Louis. Il comporte un salon «du Chevalier du Cygne» - Lohengrin d'après une peinture murale, et un autre dont les décorations sont relatives à l'histoire de Charlemagne.

Le second étage était celui du roi. On peut y voir la «salle des Héros» et l'appartement privé dont le salon de musique contient un piano ayant appartenu à Richard Wagner. Le compositeur a été un hôte assidu de ce château.

Après avoir déjeuné au grand air et jeté un coup d'œil à un marché de brocante tenu sur le trottoir, notre car nous conduit au château de Neuschwanstein. Le nombre de visiteurs est très important et on nous confie des audioguides pour la visite prévue en un peu plus d'une demi-heure.

Louis II a fait démolir deux châteaux précédents pour faire construire celui-ci, reprenant peut-être ainsi un projet de son père. Il communique ses intentions à Wagner en 1868. L'aspect du bâtiment doit évoquer le Moyen Âge. Les travaux prévus ne sont pas tous terminés au moment du décès du roi en 1886 et abandonnés. Louis II n'a pas passé que 100 jours au château. Parmi les nombreuses pièces, décorées en relation avec les légendes germaniques, thèmes des opéras de Wagner, la plus remarquable est peut-être la grande «salle des Chanteurs». En montant à pied dans le parc à partir du château on arrive au pont

«Marienbrücke» au dessus d'une chute de la rivière Bâlat, d'où la vue est vertigineuse...

Lundi 14 mai. Nous partons en direction de Partenkirchen en laissant Garmisch sur notre gauche.

A Ettal nous visitons la chapelle baroque d'une abbaye bénédictine où vivent une cinquantaine de moines. C'est un lieu d'enseignement pour quatre cents élèves. La chapelle est très belle, lumineuse. Les décorations dorées sont très bien mises en valeur par la blancheur des murs.

La visite principale de la journée est celle du château de Linderhof et de son parc. L'ensemble des bâtiments blancs du château s'accorde très bien avec la pente du terrain. Dans le vestibule, une statue équestre de Louis XIV rappelle l'admiration du jeune Louis pour son célèbre homonyme. Les pièces des appartements se succèdent, de formes différentes, chacune avec sa couleur principale. Elles sont toutes somptueusement décorées et très chargées.

Le vaste parc est très agréablement aménagé et omé ; massifs floraux, pelouses, cascade. Il comporte des bâtiments annexes : kiosque mauve, chapelle...

Sur la hauteur se trouve la «grotte de Vénus» avec stalactites, scène miniature d'un opéra de Wagner avec, sur l'eau, un bateau doré en forme de coquille, très orné, d'où un angelot est prêt à envoyer une flèche. Une ambiance musicale créée par la diffusion d'airs d'opéras wagnériens, nous y accueille.



Château de Linderhof

Nous déjeunons à Oberammergau et nous y promenons, admirant les famouses peintures murales des maisons, dont celles de la «maison de Pilate». Nous reprenons la route et allons visiter l'église de Wies, inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco.

Elle date de 1740, construite en plein champ comme lieu de pèlerinage. Nous pouvons l'admirer bien

qu'un office y soit en cours et nous empêche d'y circuler. De style baroque-roccoco, elle comporte de grandes fenêtres vitrées et des surfaces murales blanches qui en mettent la décoration en valeur. Les or, jaune et vert pâle s'y associent très délicatement. Pour l'autel s'y ajoutent des rouges carminés et quelques tableaux. Le plafond est peint pour évoquer un ciel légèrement nuageux.

A Garmisch nous devons nous contenter d'un tour de ville, pour un problème d'horaire...

Sur le chemin du retour nous nous arrêtons pour voir et photographier de loin le clocher d'Axams, le village qui nous héberge. C'est notre dernier soir ensemble.

Après le repas, Jocelyne Connerade s'adresse d'abord à Willi, dans sa langue, pour le remercier, non seulement de sa conduite du car, mais aussi de ses attentions toujours très aimables et de son sourire, puis à Uliane, compétente et spirituelle, que nous avons appréciée.

C'est Jean-Patrick Connerade qui s'adresse à Solange !

Mardi 15 mai. Valises chargées, nous partons pour une visite d'Innsbruck. Le ciel est couvert et, peu après... il pleut !

Notre guide locale nous commente d'abord un tour de ville en car. Nous visitons la plus grande basilique du Tyrol, de style rococo : « Wilten ».

Nous montons ensuite à Berg Isel où se trouve un monument dédié à Andreas Hofer, un héros national qui a résisté à l'occupation des troupes napoléoniennes. Nous voyons ensuite l'arc de triomphe érigé à l'occasion du mariage du 2^e fils de l'impératrice Marie-Thérèse et de Léopold.

Nous continuons la visite à pied sous une pluie intermittente. Cela nous permet de situer le jardin, le palais impérial, le théâtre régional, le palais des congrès avant de gagner la vieille ville, piétonnière.

S'y trouvent :

- * le « Dom St-Jakob », reconstruit au 18^e siècle après un tremblement de terre qui contient une « Vierge du Bon Secours » peinte par

Lukas Cranach l'Ancien,

- * l'hôtel de ville du 15^e siècle, remanié en 1730,
- * le fameux « petit toit d'or », reste de la loge impériale de la fin du 15^e siècle, d'où le souverain assistait aux tournois,
- * le beffroi de 57m.

Plus loin nous voyons la colonne Sté-Anne, qui commémore la retraite des troupes bavaroises en 1703 pendant la guerre de succession d'Espagne.

Nous allons ensuite prendre notre dernier repas ensemble. On nous sert individuellement notre plat principal dans sa poêle de cuisson. Typiquement autrichien ! Le car arrive pour nous conduire à l'aéroport de Munich d'où nous partons pour Paris...

A la prochaine fois...

*Claudine Dorémieux
(notes de Monique Nguyen Du)*

Iles Féroé, Shetland et Islande du 4 au 13 juin 2007

Forgées par le feu, taillées par les glaces

Le récit d'un voyage vers le cercle polaire arctique, en passant par l'archipel des tempêtes, vers la terre de feu et de glaces et le pays de nulle part, ne peut se faire au retour sans émotion et inquiétude, mais aussi émerveillement et réflexion, tant il soulève de questions sur les origines, l'évolution et la dynamique de notre globe.

Les régions traversées sont formées d'environ 200 îles tourmentées par diverses manifestations d'un volcanisme encore particulièrement actif. Elles constituent trois nations dont les origines remontent avec les Vikings seulement à la fin du premier millénaire de notre ère. Elles revendiquent chacune aujourd'hui une histoire, des traditions et une langue.

Sur les 500.000 habitants que comptent ces pays dont 300.000 en Islande, 60% sont localisés dans les capitales et les ports. A l'intérieur de ces terres, peu d'arbres, faune et flore limitées. Les ressources

principales découlent ici de la pêche, de l'aquaculture maîtrisée et originellement liées à la géothermie. L'élevage du mouton, les stations pétrolières et l'adaptation rapide aux nouvelles technologies font de ces trois petites nations des régions prospères et modernes. Ici pour les ornithologues, les oiseaux sont rois : macareux, guillemots, eiders, sternes, bassans, cormorans, mouettes ...

Le compte-rendu complet de ce voyage est disponible sur le site de l'association. Il évoque nos impressions captées et mêlées au cours de nos déplacements tout en concluant avec notre ami spécialiste Jean Blanc qui nous accompagnait : « l'Islande est un véritable laboratoire où, visiteurs attentifs, nous avons apprécié dans un cadre splendide des manifestations géologiques uniques au monde : fumerolles, solfatares, geysers, sources chaudes, lacs de cratères du Cercle d'or aux formes multiples, marmites de boue, champs de lave, châteaux noirs, et trapps assurant des marches aux magnifiques cascades de Gullfoss et Hengifoss.

Ainsi, rétrospectivement et graduellement en mer, au cours des six escales, nous nous sommes acheminés, tels les nombreux oiseaux migrateurs, au-dessus du plancher océanique mouvant, tout en suivant la grande cassure médo-océanique active ; cette dernière traverse l'Atlantique et la mer du Nord, puis l'Islande, terre émergée reliant les deux pôles sur 55.000 km.

C'est enfin à Thingvellir, en un point chaud encore actif de l'Islande que nous avons pu observer une énorme fosse d'effondrement zébrée de longues fissures sur plusieurs kilomètres. Au centre de ce rift, se situe une montée épisodique du magma à travers le manteau terrestre et la lithosphère. Cette montée entretient, encore aujourd'hui, un écartement qui agrandit de 2 cm par an la distance entre les deux continents, Amérique et Europe.

Réflexions et questions : Terriens, nous sommes sur un tapis roulant

L'observation d'un écartement symétrique à l'axe de la cassure médo-océanique, sur une terre émergée comme l'Islande, nous entraîne à en déduire que nous, Terriens, sommes sur un tapis roulant au rythme d'un plancher océanique basaltique qui

s'écoule vers des fosses océaniques, telles celles de l'ouest du pacifique ou des côtes indo-asiatiques. Entraînées par celui-ci, les plaques tectoniques peuvent se heurter (séismes), ou coulisser en plongeant sous une plaque voisine avec soubresauts ou rebondissements (situation actuelle du Japon).

La cause : une grande énergie thermique libérée par le noyau terrestre en fusion et transmise au magma (pâte molle) en mouvement entretenu (mouvements de convections électromagnétisme) puis au manteau et à la lithosphère qui doit expulser cette énergie.

Ces phénomènes expliqueraient que la surface de la terre n'augmente pas.

De quoi est constitué le manteau terrestre ?

La chimie organique de la vie n'est rien d'autre que la chimie du carbone et elle doit sa richesse aux propriétés associatives particulières de l'atome de carbone.

A ce même titre, la chimie minérale du manteau - et par suite celle des deux croûtes terrestres inférieures et supérieures, laves basaltiques - n'est-elle pas liée au silicium, pour ses mêmes propriétés structurantes particulières ? Nous savons depuis Lavoisier et Mendeleïev (1860) que notre planète est constituée de 92 éléments. Les plus répandus sont l'oxygène 47 %, le silicium 28 %, puis viennent l'aluminium 8 %, le fer 6 %, le calcium 3,6 %, le sodium 2,8 %, le potassium 2,6 %, le magnésium 2,1 %. Ces 8 éléments représenteraient 98,5 % de « l'écorce terrestre », le carbone 0,048 %.

Nous avons constaté au cours de notre passage en Islande au contact des laves basaltiques et des trapps, et au plus près des manifestations du magma et du manteau terrestre, une grande hétérogénéité des constituants colorés. Mais surtout nous avons pu discuter de l'identification de mono ou multisilicates aux multiples colorations et suivant la température, la pression, le temps et la concentration de la formation des cristaux obtenus : les silicates en association avec Al, Mg, Fe, Li, B, Ca, K, Na, Cu, Zn, Pb et Be peuvent donner des sels de couleurs très variées et inattendues.

Des récents travaux de Watson et al (*Nature*, sept 2007) semblent indiquer que l'enstatine (Mg/Fe) SiO_3 et l'olivine (Mg/Fe) $2SiO_4$ seraient les principaux constituants du manteau et de la lithosphère.

Si, de cette grande hétérogénéité des silicates cristallisés ou amorphes du manteau résulte une charpente solide, dure, il en résulte aussi des fissures ou microfissures dans lesquelles, gaz, liquide, magma peuvent s'infiltrer et entraîner fumerolles, geysers, émanations de S , CO_2 , CH_4 , HCl

Jacqueline Chauvet-Pujol

Les volcans d'Islande : une dorsale sous-marine émergée

Conférence de Jean-Joseph Blanc

La situation de l'Islande est unique au monde. L'île est établie sur une portion émergée de la dorsale sous-marine Nord-Atlantique (Dorsale de Reykjanes). Cette dernière constitue une frontière entre la plaque américaine (au NNW) et européenne (au SSE). A leur contact, au centre effondré de cette dorsale (rift), se situe une zone d'expansion océanique caractérisée par une montée continue de magma de nature basaltique appartenant à une croûte «océanique» (basaltes s.s.t, océanites, gabros). En fait, le fond de l'Océan Nord-Atlantique (Féroé, Islande, SE du Groenland) est constitué par des masses de basalte océanique. L'ascension et la poussée du magma amène l'écartement continu des plaques européenne et américaine de quelques centimètres par an (cas d'une «dorsale lente»), -à des poussées épisodiques irrégulières (quelques mètres en plusieurs siècles) ouvrant de larges couloirs effondrés le long des fissures axiales du rift (Krafla, Myvatn, Thingvellir). La vitesse d'ouverture du rift islandais était anciennement estimée à partir de repères fixes. Les recherches modernes ont utilisé les stades d'inversions magnétiques des laves émises dont on connaît la chronologie, puis plus récemment les mesures très précises à partir de bases GPS.

Des failles transformantes se traduisent par un coulisage latéral, dextre ou senestre, décalant l'axe du rift islandais. En ces lieux, parmi les plus instables du

globe, la dynamique du magma extrusif correspond à un volcanisme continu récent (quelques siècles) et actuel. Citons l'Kékla, le Laki (1783), les volcans sous la calotte glaciaire du Vatnajökull, la plus grande d'Europe, le groupe de Krafla et de Myvatn, l'Efell et le volcan sous-marin de Surtey.

Un couloir sismique

Outre le volcanisme, l'expansion du magma est responsables de contraintes sismiques importantes et quasi permanentes, toujours localisées le long du rift sous-marin ou émergé, avec une densité maximale au contact du recouvrement des failles transformantes : des magnitudes supérieures à 5 sur l'échelle de Richter ne sont pas rares (épicentres sous-marins à la Dorsale de Reykjanes, au SW, à la presqu'île de Keyflavik, aux couloirs faillés de Thingvellir, du Laki et d'Husavik. Quant aux «essaims» d'épicentre compris entre les magnitudes de 4 et 5, ils sont observés partout sauf aux extrémités NNW et SSE, SSE de l'île où les distances du rift actif sont maximales, donc, compte rendu de l'expansion océanique de la dorsale, là où les terrains de l'Islande sont les plus anciens (âge tertiaire final : 3 à 3,5 millions d'années). Ainsi, l'Islande forme une grande île volcanique, géologiquement très récente, avec des terrains fini-tertiaires à la périphérie (trapps basaltiques de Seyðifjörður et d'Ísafjörður), les laves d'âge quaternaire «au milieu» et les basaltes «actuels» (quelques siècles d'aujourd'hui), au centre des rifts actifs.

Géothermie

Zone d'expansion, ascension du magma, fractures de rift et de failles transformantes, l'Islande constitue encore un «point chaud» où se manifeste une géothermie exceptionnelle. Les fractures du rift émergé s'avèrent propices à l'émission de fumerolles et de solfatares (HCl , Cl/FE , H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4 , SH_2), volcans de boues brûlantes, geysers. Ces derniers correspondent à des arrivées d'eaux souterraines, plus proches du magma, chauffées à des températures élevées (128°). Ces eaux chaudes s'élèvent dans une cheminée correspondant à une fracture : leur augmentation de volume se présente sous la forme d'une énorme bulle en arrivant à la surface. La diminution brusque de la pression et de la température induisent

une vaporisation explosive, d'où une éruption du geyser. La colonne d'eau peut atteindre de quelques m. à 15 m., jusqu'à ce que les conditions thermiques, en profondeur, soient réalisées pour le départ d'une nouvelle éruption (site de Geyser, Grand Geyser, Strokkur). Quant aux sources thermales (50 à 70°), il y en a partout en Islande où ces dernières sont exploitées pour le chauffage, les piscines, les cultures sous serres (fruits et légumes «exotiques», usine électriques (Reykjavik). Bien entendu, les zones les plus chaudes sont localisées aux failles et couloirs effondrés du rift. La géothermie est une des richesses de l'Islande.

Un volcanisme actif

Connu depuis les premières installations humaines (VIII^e s.), les volcans d'Islande sont toujours en activité. Depuis onze siècles on a observé 30 à 40 volcans actifs essentiellement localisés dans le rift médian et ses bordures. 130 éruptions ont été décrites depuis l'an 870 : l'Hékla (ininterrompu du X^e s. à 1991, le Laki (1783), Kata (de l'an 1000 à 1955), Krafla (du XVIII^e s. à 1980), Rekjanes (Eldeyjar : 1926), les volcans sous-glaciaires dissimulés sous la calotte du Vatnajökull (1996), les volcans sous-marins d'Eldfell et de Surtsey (1963), etc... De part et d'autre de la dorsale (rift), les zones les plus éloignées de l'axe de l'expansion océanique, donc les plus anciennes (fin du Tertiaire et du Quaternaire inf.), sont dépourvues de volcans actifs.

L'éruption du Laki (juin 1783) a été une catastrophe à l'échelle mondiale : 27 bouches à feu ont déversé 565 km³ de laves (19 km³) recouvrant 8.000 km² et d'énormes nuages de cendres riches en CO₂, SO₂, F₂ (20 millions de tonnes). Près de 48.000 victimes furent la conséquence des émissions de cendres et de vapeurs toxiques obscurcissant le ciel et ruinant les cultures et l'élevage (la «Famine de la Brume»). Le nuage毒ique s'est répandu jusqu'en Europe continentale, refroidissant la température et entraînant, notamment en France, de très mauvaises récoltes et une disette (Petit âge de glace). On connaît la suite... Citons encore l'Hékla (vapeurs de F₂), coulées détruisant les troupeaux : éruptions du XII^e s. jusqu'en 1990-1991, l'Askja (1875 à 1961), Krafla (XVII^e s. à 1975, 1977, 1980). Il y a encore les volcans marins au sud de la dorsale : Idfele sur l'île de Heimaey (éruption en 1973 après 5.000 ans de tranquillité...).

Helgafell (fontaines de laves détruisant une partie du port et de la ville de Vestmannaeyar), plus au sud, le volcan sous-marin de Surtsey (vaporisation de l'eau de mer, explosions sous-marines et panache de 3.000 m.), né en 1963.

Des activités volcaniques très diversifiées

On en distingue six types :

- Volcans fissuraux, linéaires à laves basaltiques, tunnels de lave (Château Noir), recouvrant de grandes étendues avec des coulées successives bien stratifiées. Les émissions se font à partir de fractures ouvertes dans le rift. Ce sont les plus répandus.
- Pseudo-volcans, très spectaculaires et bien représentés en Islande. Une coulée de lave incandescente recouvre brusquement une étendue lacustre ou une tourbière. Une vaporisation explosive immédiate «trépanne» la coulée, de bas en haut, amenant l'éclatement d'un cratère en surface. Ce sont des volcans «sans cheminée».
- Volcans sous-glaciaires situés sous la calotte du Vatnajökull, sous 900 à 1.000 m. de glace. La lave, «émise par des fractures cachées, sort sous pression, fond la glace et arrive à la surface avec formation d'un énorme panache de vapeur. Le danger de ces volcans, situés en zones désertes, réside surtout dans la formation et le développement de torrents de boue («lahars») se ruant vers la mer et coupant les voies de communication.
- Volcans à laves acides (rhyolites) se solidifiant rapidement, obturant leur cheminée, donc explosifs. Leur forme est conique, tronquée, avec des alternances de coulées de laves riches en fer et de projections (scories, pences, lapilli : Kekla, Snaefellsjökull : voir le « Voyage au centre de la Terre » de Jules Verne), Hverfjall près du lac Myvatn.
- «Maars», énormes cloques surbaissées dues à l'explosion sous-jacente d'une nappe phréatique vaporisée par une arrivée magmatique d'origine fissurale. L'explosion forme un cratère bordé par un « rempart pyroclastique » à la périphérie, bourrelet formé de débris et de blocs tractés par l'onde de choc (« déferlante basale »). Ce type d'éruption, très dangereux, est ensuite occupé

par un lac. On en observe de beaux exemples en France : Issarlès, Payrin, Le Bouchet, Gour de Tazenac.

* Volcans sous-marins : l'île de Surtsey, surgie des flots le 14 novembre 1963 constitue un exemple spectaculaire. On a pu observer en détail d'énormes gerbes et nuages de vapeur au contact de l'eau et du feu, s'élevant à 8 km. d'altitude. Un cône s'exhausse de 480 m. en trois mois. Les coulées sous-marines sont des laves en forme d'oreiller (= pillow-lava) dont la surface est vitrifiée par un refroidissement quasi

immédiat. Six mois après la naissance de Surtsey, on observait l'établissement de 14 espèces de mousses. En 1970, 60 espèces de mousses étaient implantées.

Pour conclure, l'Islande est un véritable laboratoire naturel où le visiteur attentif pourra apprécier de visu, dans un cadre splendide, des manifestations géologiques grandioses. Elle permet l'observation, unique au monde, d'une dorsale océanique émergée, au contact de deux plaques (Europe-Amérique).

Jean-Joseph Blanc

Voici les voyages 2008 pour lesquels les inscriptions sont encore ouvertes.

Du 1^{er} au 13 octobre 2008 (arrivée Paris 14 octobre) - Faute d'avoir pu obtenir des places d'avion en 2008 en raison des jeux olympiques, le voyage en Chine est reporté en 2009. En remplacement, nous proposons un circuit dans l'Ouest des Etats-Unis : de Los Angeles à San-Francisco en passant par le Grand Canyon, le pays Navajo, Monument Valley, Arches, Bryce Canyon, Las Vegas et Monterrey. Prix : 2135 euros par personne en chambre double.

Du 27 octobre au 3 novembre 2008 - Voyage intergénérations des grands-parents accompagnant leurs petits enfants (10 à 16 ans) à Rome, avec hébergement au couvent Saint Joseph de Cluny. Prix : 1250 euros par personne en chambre double et 970 euros par personne en chambre double sans vol.

Les prix indiqués, variables selon le nombre de participants et l'augmentation possible des taxes, comprennent les assurances, les taxes d'aéroport et de carburant. Les programmes détaillés sont disponibles sur demande auprès du secrétariat.

Prévisions de voyages pour l'année 2009

Au mois de mars : Turin du 15 au 22 mars : visite de la ville, musée égyptien (1^{er} au monde après celui du Caire) musée d'art contemporain, Palais Royal, Bourg médiéval, Lac d'Orta avec tour du lac en bateau, Lac Majeur avec croisière et visite des îles Borromées puis tour du lac en car.

Prix approximatif : 1230 euros par personne pour 25 participants.

Au mois de mai la Chine, à une date à déterminer : Pékin (visite de la cité interdite, opéra de Pékin, Temple du ciel, Palais d'été), la Grande muraille, le tombeau des Ming..., Xi'an (la fosse aux 6000 guerriers). Shanghai (Suzhou, croisière sur les canaux), Tongli, Guilin, Longsheng (visite du village des minorités), Yangshuo, Canton, Hong-Kong. Rencontres avec nos collègues scientifiques chinois. Prix approximatif : 2200 euros par personne pour 30 participants.

Au mois d'octobre le Mexique, du 7 au 20 octobre 2009 : Mexico, Teotihuacan, Puebla, Oaxaca, Monte Alban. Prix approximatif : 1800 euros par personne pour 22 participants.

Aux vacances de la Toussaint, croisière sur le Nil entre Louxor et Assouan pour les grands-parents et leurs petits-enfants.

A l'étude, un séjour thalassothérapie de 10 jours en Tunisie ou au Maroc avec deux jours de visites.

Gisèle Vergnes et Solange Dupont

Nouveaux adhérents

ANDRIAMIALISOA Zo	Quimper	HEUSCH Bernard	Mundolsheim
BALLAIN René	Seyssins	JEANJEAN Robert	Marseille
BALLE Catherine	Paris	KRESS Chantal	Paris
BERTAUX Jean-Loup	Sèvres	KRIEGER Monique	Chatenay-Malabry
BERTEAUD-MAHE Jackie	Pilelan-le-Grand	LECOMTE Danièle	Palaiseau
BESNARD Madeleine	Martigne-Ferchaud	LEHMANN Chantal	Chavigny
BONPUNT Louis	Meynrels	LEVY Roland	Strasbourg
BOUCHIAT Marie-Anne	Paris	MARIE Nadine	Paris
BOUILLIN Jean-Pierre	Meylan	MARIEN Gérard	Villeurbanne
BRISSAUD Ivan	Aubagne	MATRICON-GONDTRAN Michelle	Cachan
BRUN Hélène	Toulouse	MAURIN Georges	L'Hay-les-Roses
BLUSSON Ginette	Varces-Allières-et-Risset	MELLOTEE Henry	Paris
CATTENOT Martine	Villeurbanne	MEUNIER-RÖTIVAL Michèle	Paris
CHESSELET Kéty	Paris	MONTINTIN Alain	Saint-Denis
CHRISTEFF Névéna	Paris	MORET Roger	Gentilly
CLEMENT Thérèse	Paris	MOUTIER Marie-Claude	Paris
COLLANDRE Hélène	Paris	NAUDINAT Martine	Toulouse
COUTELIER Jacques	Escalquens	PESQUER Michel	Talence
CUSSET Jean-Michel	Pierre-Benite	PETITDIDIER Monique	Paris
DAROT Michel	Wolfisheim	PINCETIC Françoise	Metz
DENIAUX Brigitte	Montmer	RATOUCZNAK Jeanine	Belcodene
DESBOIS Michel	Gometz-le-Châtel	RE Micheline	Villejuif
D'HALLUIN Jean-Claude	Louvil	RILEY Marie-Hélène	Royaume-Uni
DIDEBERG Otto	Grenoble	ROBLIN Gabriel	Poitiers
DIRHEIMER Guy	Strasbourg	ROCA Marie	Castelginest
DOUILLARD Alain	Rive-de-Gier	RULLIERE Claude	Cestas
FALVEL Sylvette	La Chapelle-en-Serval	SAUVAGE Michèle	Palaiseau
FORESTIER Gérard	Aiffres	SNAUWAERT Gisèle	Villeneuve-D'Asq
FOY Françoise	Saint-Martin-en-Haut	STINUS Louis	Pessac
CAILLAC Anne-Marie	Fontenay-lès-Briis	TA PHUOC Loc	Verrières-le-Buisson
GARBARG Monique	Paris	TRICONNET Martine	Saint-Rémy-lès-Chevreuse
GAUTHÉY Jacques	Fontaine-lès-Dijon	UNAMUNO Salomé	Strasbourg
GENDNER Jean-Paul	Strasbourg	VASSARD Nicole	Paris
GIRARD Jeannine	Paris	VASSEUR Guy	Montpellier
GIROUTRU Marie-Thérèse	Saint-Egrève	VERGATI Anne	Paris
GORIDIS Cristo	Paris	VIGNERON Bernard	Vandoeuvre-lès-Nancy
GOUDÉY Betty	Nancy	VIOLET Alain	Souzy-la-Bruche
GUERFI Amane	Paris	VITSE Georges	Paris
GUERY-ODELIN David	Toulouse	VOOS Michel	Villette
GUSSANI Annie	Fresnes		

Informations

Ouvrages

Jean-Marie Albertini est directeur de recherche émérite au CNRS. Pionnier de la recherche en pédagogie de l'économie, il a fondé et dirigé l'IRPEACS à Lyon.



Pédagogue hors pair, Jean-Marie Albertini décortique dans cet ouvrage les grandes notions économiques et financières pour en expliquer le fonctionnement à l'étudiant, au consommateur, au citoyen désireux de comprendre un monde qu'il ne peut ignorer sous peine d'en subir le conditionnement. Il raconte l'origine de la monnaie, l'évolution des banques, il explique comment se gère un budget de l'Etat, les choix stratégiques des entreprises, il évalue l'impact de la pauvreté et de la dégradation de l'environnement sur les sociétés. Conçu soit pour être lu en continu, soit pour être consulté grâce à un index et de nombreux encadrés, son livre « Les nouveaux rouages de l'économie » contribue à rendre plus lisible ce monde complexe.

Né en 1931, Claude Bataillon est géographe. Longtemps chercheur au CNRS (1966-1996), il a travaillé au Mexique à l'Institut français d'Amérique latine (1962-1965) et au Centre d'études mésoaméricaines et centroaméricaines (1962-1984). A Toulouse (1973-1996), il a dirigé le Groupe de recherches sur l'Amérique latine et contribué à la naissance de l'Institut pluridisciplinaire pour les études sur l'Amérique latine.



Dans ce livre Claude Bataillon dresse pour la seconde moitié du XXème siècle le panorama d'un latino-américanisme auquel il a participé de multiples façons. Si cet ouvrage retrace avant tout un itinéraire personnel, il propose également l'histoire d'une collectivité faite à la fois d'individus et d'institutions. Ces dernières constituent les meilleurs traqueurs des évolutions intellectuelles, les meilleurs révélateurs des regards que les latino-américanistes ont échangés avec les Latino-Américains depuis la Seconde Guerre mondiale.

Fonctions à pourvoir dans l'Association

Conseil d'administration

Sept postes de membres du conseil d'administration sont à pourvoir lors de l'assemblée générale de mai 2006. Les adhérents souhaitant participer davantage à l'activité de l'association, et faire ainsi connaître et, le cas échéant, adopter leur point de vue lors des réunions du Conseil d'Administration qui se tient quatre fois par an, peuvent se faire connaître auprès du secrétariat général. Contact : amis-cnrs@cnrs-dir.fr

Correspondants régionaux

Nous sommes toujours à la recherche de correspondants régionaux pour les régions :

- Bordeaux-Aquitaine • Bretagne • Orléans-Centre

Fonctions de trésorier

L'association recherche parmi ses adhérents des candidats aux postes de trésorier et trésorier-adjoint. Ces activités bénévoles demandent une présence au siège de 2 jours répartis sur le mois, soit 1/2 journée par semaine. Contacter le secrétaire général : claudius.martray@cnrs-dir.fr - Tél. : 06.62.16.48.29 - 01.44.96.44.57

Décès

Nous avons appris avec tristesse les décès de Pierre BERNARD, Gaston BEVA, Bernard BRUNEAU, André COLLIN, Alain DEROULEDE, Georgette CALAN,

Françoise GAUTHÉ, Maurice MARANDON, Philippe MOLINE, Violette MAURAOUI, Maurice POULET et de Michel SIMALTY.

Nous adressons à la famille et aux amis des disparus nos condoléances les plus sincères.