AAM
association des anciens de la météorologie

arc en ciel

L'observatoire météorologique de Magny-les-Hameaux

Quarante ans de recherches en instrumentation et en physique de l'atmosphère

Marc Gillet, Philippe Garnier, Claude Niclot, Nadine Cenac, Jean-Louis Champeaux, Guy Sennequier
Avec les contributions de Jean-Pierre Chalon, Claude Gaillard, Constantin Pontikis, Jean Tardieu, Marcel Zéphoris

numéro spécial n° 13 - octobre 2020

Chers lecteurs,

Le numéro spécial de la revue arc en ciel de l'Association des Anciens de la Météorologie que vous avez entre les mains retrace l'histoire complète de l'Observatoire météorologique de Magny-les-Hameaux : de son ouverture début 1952 à sa fermeture en 1993, ce site était dédié à la recherche en instrumentation et en physique de l'atmosphère.

Ce projet de rédaction d'un historique de Magny-les-Hameaux est le fruit d'un travail collectif de longue haleine qui a abouti grâce aux qualités de coordination et de persévérance de Marc Gillet, ainsi qu'à l'enthousiasme et au dynamisme des coauteurs Philippe Garnier, Claude Niclot, Jean-Louis Champeaux, Guy Sennequier, Nadine Cénac et de l'ensemble des personnes qui ont contribué, notamment, Jean-Pierre Chalon, Claude Gaillard, Constantin Pontikis, Jean Tardieu et Marcel Zéphoris.

La rédaction de cet ouvrage a nécessité un travail important de recueil de témoignages et documents auprès des météos qui ont travaillé à Magny-les-Hameaux au cours de leur carrière. Une liste de ces météos (225 personnes recensées sur toute la période) a tout d'abord été constituée avec la recherche de leurs coordonnées pour les contacter. De nombreux échanges se sont étendus sur plus de deux ans, avec notamment la tenue de deux réunions d'anciens météos de Magny-les-Hameaux en 2018, l'une à Trappes et l'autre à Toulouse, qui ont rassemblé une trentaine d'entre-eux. Au cours de ces réunions, il a été décidé de rédiger des fiches sur les projets qui se sont déroulés à l'observatoire et d'organiser le stockage de l'ensemble des informations recueillies. Deux personnes ont été particulièrement actives pour rassembler ces informations : Philippe Garnier pour la rédaction des fiches sur les projets et Claude Niclot pour la mise à disposition de son archive de photographies, désormais stockée par l'AAM et dont sont issues la plupart des illustrations de cet ouvrage. Les autres auteurs et contributeurs ont apporté aussi des éléments importants, notamment sur leurs activités à l'époque.

La rédaction de l'article lui-même a commencé en janvier 2020 et s'est terminée en juin 2020 : les auteurs ont donc mis à profit la période de confinement liée au COVID-19 pour se concerter par téléphone et e-mail, afin de pouvoir rédiger et mettre en forme les différentes contributions. Cette rédaction aura peut-être permis aux contributeurs d'atténuer l'isolement lors de cette période particulière liée au COVID19, qui s'est donc en définitive avérée propice à l'aboutissement du projet.

Au nom de l'Association des Anciens de la Météorologie, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à l'accomplissement de cet ouvrage qui est important pour l'Association, qui a entre autres pour but de conserver la mémoire des métiers, des sites météos et des personnes qui y ont travaillé. Bien que n'ayant pas été moi-même en poste à Magny-les-Hameaux, j'ai lu avec beaucoup d'intérêt cet ouvrage qui retrace la naissance du laboratoire avec en particulier le choix du site et sa construction, l'ensemble des activités successives, l'évolution des techniques et méthodes de travail. Il représente une mine d'informations avec une description détaillée des instruments, des équipes, des différents projets et des choix scientifiques qui ont été faits au cours de toute cette période. L'ouvrage est en plus très agréable à lire grâce au style très vivant que les auteurs ont su garder, il se lit comme un reportage avec des détails sur la vie au centre, un mélange de parties très techniques et d'anecdotes, le tout agrémenté de photos poignantes de véracité. Il ressort à la lecture l'ambiance de la vie sur le site, l'esprit de grande famille des météos, l'envie des auteurs de communiquer et transmettre leur passion de la météo à travers leurs souvenirs. Un grand merci donc à tous ceux qui ont participé à ce beau projet qui permet de garder une trace de tous ces souvenirs de l'Observatoire de Magny-les-Hameaux.

J'espère que vous aurez le même plaisir que moi à lire cet ouvrage et vous souhaite une très bonne lecture,

Christine Dreveton
Présidente de l'AAM

L'observatoire météorologique de Magny-les-Hameaux

Quarante ans de recherches en instrumentation et en physique de l'atmosphère

Marc Gillet, Philippe Garnier, Claude Niclot, Nadine Cenac,
Jean-Louis Champeaux, Guy Sennequier

Avec les contributions de Jean-Pierre Chalon, Claude Gaillard,
Constantin Pontikis, Jean Tardieu, Marcel Zéphoris

Sommaire

page 9
Introduction

page 11
La création de l'observatoire

page 13
Les activités
au début de l'observatoire

page 17
Les événements de mai 1968
et le développement
de l'observatoire (1968-1976)

page 19
Le CERAM
et les 30 ans de l'EERM
(1976-1982)

page 37
Le Centre de Recherches
en Physique de l'Atmosphère
(CRPA)

page 47
La présence dans les grandes
expériences d'observation

page 63
Références

page 65
Acronymes

page 67
Listes nominative
des anciens de l'observatoire
de Magny-les-Hameaux

Photo 1 L'observatoire de Magny-les-Hameaux en 1960 (Photo C.Niclot)

Introduction

Le jeudi 25 février 1993, l'observatoire météorologique de Magny-les-Hameaux fermait définitivement ses portes, après quarante et un ans d'existence, puisque les premières activités commencèrent au printemps de l'année 1952.

Sur cette période, plus de 200 personnes au total, chercheurs, ingénieurs, techniciens, ouvriers, administratifs, stagiaires, … ont consacré toute leur énergie aux travaux de l'observatoire pour contribuer aux progrès de la météorologie alors en plein développement. Les activités ont été très variées et ont accompagné une évolution technique très rapide. Les instruments de mesure du réseau d'observation météorologique étaient en effet essentiellement mécaniques en 1952, et l'invention de la radiosonde et du radar étaient très récents (voir par exemple Perlat et Petit, 1961). Sont apparus successivement le transistor, les circuits logiques, la télévision en couleurs, l'ordinateur, le laser et toutes sortes d'autres techniques qu'il fallait essayer. On constate, rétrospectivement, que les activités de l'observatoire se situaient souvent dans des domaines qui ont été abandonnés par l'établissement public Météo-France actuel, mais qui ont été repris par d'autres organismes de recherches ou des sociétés privées. Les équipes de Magny-les-Hameaux ont aussi contribué à de grandes expériences internationales organisées par l'Organisation Météorologique Mondiale, comme le GATE, ou par la France, comme COPT. C'est également depuis Magny-les-Hameaux qu'a été initialement définie et développée, dans le cadre du projet Aramis, la mise en réseau des radars météorologiques français, et le premier système de diffusion et d'utilisation d'imagerie Météotel. Notre ambition, dans cet écrit, est de témoigner de cette époque difficile mais exaltante, où la plupart se dépensèrent sans compter et se débrouillèrent au mieux pour faire avancer les systèmes d'observation et les connaissances en météorologie.

Avant la création de l'observatoire de Magny-les-Hameaux, les chercheurs de la Météorologie nationale étaient hébergés à l'observatoire de Trappes. Dès 1938 on cherchait un emplacement éloigné de toutes perturbations électromagnétiques, perturbations qui étaient, déjà à l'époque, importantes à Trappes, en raison de la présence de la gare de triage. Peut-être les responsables de la recherche d'alors essayaient-ils aussi de s'affranchir de l'autorité du centre du matériel de Trappes. Le décret n°48-1209 du 19 juillet 1948 fixe l'organisation et le fonctionnement de l'Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques (EERM). Il comporte des centres de recherches théoriques, expérimentales et instrumentales, un centre aérien d'études météorologiques et une école de la météorologie. Les moyens matériels, les activités et les effectifs de Magny-les-Hameaux n'ont cessé de croître entre sa création et l'année 1982, quand de nombreuses équipes furent transférées à Toulouse. Un certain nombre d'activités subsistèrent ensuite à Magny-les-Hameaux, mais elles disparurent progressivement pour être reprises par le Centre

National de Recherches Météorologiques (CNRM) à Toulouse, ou par le Service des Equipements et des Techniques Instrumentales (SETIM) à Trappes ; certaines furent même purement et simplement abandonnées ou cédées à des laboratoires du CNRS, comme ce fut le cas pour les mesures par Lidar, le suivi du réseau BAPMoN (Background Air Pollution Monitoring Network) ou les mesures d'Ozone.

Trois événements ont influencé l'évolution de l'observatoire durant les quelque quarante ans de son existence :
– l'explosion de Mai 68 : à travers les revendications sociales, politiques et autres de l'époque, ces événements permirent aux personnels, chercheurs et ingénieurs compris, d'intérioriser l'importance de leur rôle. La période qui en a suivi est marquée par une forte croissance des moyens en matériel et en personnel. Ces évènements précédèrent aussi de peu l'arrivée à la direction de l'EERM de Léopold Facy, chercheur connu internationalement dans le domaine de la microphysique atmosphérique et excellent organisateur. Celui-ci a su réorganiser les activités de recherche qui se faisaient jusque-là de manière un peu anarchique, en impulser de nouvelles et adapter les tâches du personnel administratif dans l'intérêt de ces recherches.
– en 1974, la nomination d'Adelin Villevieille comme directeur de l'EERM, qui réorganisa l'établissement en lançant un grand nombre de nouveaux projets à Magny-les-Hameaux.
– en 1982, la décision politique de mise en application effective de la recentralisation des services de la Météorologie Nationale vers le site de Toulouse. Ceci a marqué le début du déclin de l'observatoire. L'appauvrissement en objectifs de recherche et en personnels, transférés en grande partie vers le site du CNRM à Toulouse, a rendu le maintien d'un second centre de recherches en région parisienne difficile à justifier, d'autant plus que le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), le CNRS et l'université créaient à cette époque le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) et l'Institut Pierre Simon Laplace en vue de fédérer les activités de la région parisienne sur le climat et l'environnement.

Nous rappelons ici ce que furent les principales activités de l'observatoire de Magny-les-Hameaux, mais aussi la manière dont elles furent conduites au début de son existence, à une époque où les chercheurs disposaient d'une grande liberté tout en étant soumis à des restrictions budgétaires et matérielles souvent sévères.

N.B. : Le présent article ne contient qu'une sélection limitée de l'iconographie et des textes qui ont été rassemblés sur l'histoire de l'observatoire de Magny-les-Hameaux. L'ensemble des documents qui ont pu être réunis a été déposé sur une Dropbox dont l'accès peut être demandé aux auteurs par tout lecteur intéressé à en savoir davantage. Un grand nombre de documents sont aussi consultables sur le site Internet de l'Association des Anciens de la Météorologie www.anciensmeteos.info

La création de l'observatoire

Les éléments relatifs au choix de l'emplacement de l'observatoire rappelés ici proviennent principalement d'un article de Jean-Pierre Picquenard, disponible auprès des auteurs. Les activités prévues alors étaient la recherche liée à la météorologie, l'optique atmosphérique, en particulier l'ozone, la turbulence et la structure du vent, le brouillard, les parasites atmosphériques et la propagation des ondes radioélectriques très courtes, l'énergie solaire en vue d'implanter un laboratoire d'actinométrie, et l'enseignement des ingénieurs élèves.

On envisagea d'abord d'installer l'observatoire dans le département actuel des Yvelines, sur la commune de Buloyer, près des Granges de Port Royal, à la fois proche de Trappes et de Paris, et exempte d'interférences radioélectriques et de vibrations mécaniques. Le terrain de Buloyer, d'une superficie d'un peu plus de 3 ha, fut acquis le 10 septembre 1943, et l'avant-projet était adopté le 13 décembre 1946. Cependant le Comité d'aménagement de la région parisienne rendit un avis défavorable, après une visite des lieux le 8 mai 1947, en raison de la proximité du site historique de Port Royal des Champs, qui fut le refuge des jansénistes sous Louis XIV. Il fallut donc rechercher un autre terrain. Le site de Magny-les-Hameaux, entre les hameaux de Villeneuve et de Gomberville, fut finalement retenu, et devint propriété de l'Etat en 1949.

La construction de l'observatoire est achevée en 1951. L'installation des laboratoires est réalisée au printemps de 1952 (Viaut, 1964) et on y conduit des recherches sur les nouveaux capteurs atmosphériques, les composants mineurs de l'atmosphère, la granulométrie et la composition chimique des précipitations. Le 18 avril 1952 la Société Météorologique de France célèbre son centenaire et rend une visite aux nouveaux locaux de l'Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques à Magny-les-Hameaux. Le directeur de l'EERM est alors Jean Roulleau, qui coiffe également l'Ecole nationale de la Météorologie (ENM).

Le bâtiment de l'observatoire prend une forme en U, disposition permettant de séparer nettement les laboratoires des ateliers et des machines comme les souffleries ou les caissons à vide pouvant provoquer des vibrations. L'aile nord abrite une forge, une menuiserie et l'atelier de mécanique, l'aile sud deux souffleries et un caisson basse pression. Dans le corps principal se trouvent les laboratoires, les bureaux et la bibliothèque. Les allées et venues dans l'observatoire sont minimisées grâce à cette forme en U. La petite soufflerie et le caisson seront ultérieurement remplacés par des bureaux et la salle informatique.

Des pièces obscures sont aménagées pour les mesures optiques et photographiques avec des cheminées permettant l'accès à la lumière du jour sans variation de température. Une cave laboratoire à deux entrées de 60 mètres de long par 5 mètres de large et d'une grande stabilité thermique est réservée aux expériences de J. Roulleau. Elle permet d'effectuer des mesures délicates exigeant de la place et de la tranquillité. De vastes terrasses sont utilisées pour les mesures météorologiques et actinométriques.

À l'extérieur, se trouvent le pavillon du gardien, logé sur place, et un pavillon “visiteurs” avec cinq chambres au premier étage pour les chercheurs ayant à faire des mesures de nuit ou pour recevoir des scientifiques étrangers ; ces chambres sont situées au-dessus d'une grande salle abritant le bar-restaurant. Dans la partie ouest du terrain, deux tours de 30 mètres permettent l'installation de dispositifs de mesure liés aux thèmes de recherche. Un abri de gonflement de ballons est implanté à proximité de la clôture et de la station de pompage qui alimente l'observatoire en eau potable. Au début des années 70, une cuve à essence fut installée, afin que les véhicules de l'administration ne courent pas le risque de manquer de carburant en période de disette budgétaire, ce qui se produisait systématiquement en début d'année. De mauvaises langues ont fait courir le bruit que cette essence aurait été déclarée comme essence avion afin de ne pas avoir à payer les taxes sur les carburants. Une pompe à essence se dressait donc à l'extrémité de l'aile nord de l'observatoire. Un abri contenant un groupe motopompe à incendie se situait à côté de la station de pompage. Ces installations étaient placées sous la responsabilité de M. Passak.

En raison de l'isolement de l'observatoire et de l'absence de transports publics pour s'y rendre, un système de transport par car est organisé afin de permettre aux personnels n'ayant pas d'autre moyen pour aller le matin à leur travail et en repartir le soir. À la fin de la journée de travail, une puissante sonnerie retentit dans tout le bâtiment pour annoncer l'imminence du départ du car. Il est ainsi possible de venir à l'observatoire le matin depuis Paris, soit depuis la porte d'Orléans, soit depuis la porte de Versailles, et de rentrer chez soi par le même itinéraire à condition de ne pas manquer le départ du car. Le second trajet passe par la gare de Versailles Chantiers, avec un crochet par l'observatoire de Trappes. Avec l'habitude, certains estiment qu'une place bien précise leur appartient dans le car, et malheur à celui qui s'y installera par mégarde !

Le bâtiment est déjà à l'époque dûment câblé, avec un système conçu par le laboratoire d'électronique qui permet d'afficher partout l'heure exacte. Depuis le standard, il est possible de lancer des appels qui retentissaient sur des hauts parleurs dans tout l'observatoire. C'est ainsi que chacun est informé que tel ou tel est convoqué au bureau de la Direction, ou est attendu par un visiteur …

Les activités aux débuts de l'observatoire

L'effectif de l'observatoire se compose, à son début, d'une trentaine de personnes. Les activités sont déjà très variées. Le catalogue des notes de recherche de l'EERM, dont les premières paraissent en 1959 et la dernière en septembre 1994, donne une idée des sujets abordés à l'observatoire.

Roger Lhermitte s'intéresse à la mesure de l'intensité de pluie par radar et étudie le spectre des fluctuations d'échos radar obtenus sur des précipitations. Il propose aussi un dispositif radar pour la mesure directe, en altitude, des vitesses verticales des particules d'une précipitation. Comme il ne dispose pas à l'époque d'oscillateur cohérent pour conserver la phase du signal émis, il utilise les références de phase apportées par des échos fixes (voir Lhermitte, 1957 et Lhermitte, 1959 ou Gillet, 2016, ainsi que l'article relatif à Roger Lhermitte sur Wikipedia). Vers 1960 il anime une équipe de 4 personnes, comprenant Guy Larroucau, Charles Brosson, M. Vavasseur et M. Campos.

C'est en 1960 qu'il part aux États-Unis, pour y trouver des conditions de travail plus valorisantes, des financements plus souples et un environnement professionnel plus favorable. Ce départ a été largement suscité par David Atlas, un autre pionnier de la météorologie radar, qui souhaitait renforcer son équipe. Atlas raconte (Wakimoto, M. et R. Srivastava, 2003) que le 2 décembre 1957 ils réalisèrent les premières mesures par la méthode du VAD (Velocity-Azimuth Display), quand Roger Lhermitte brancha un amplificateur audio sur la sortie Doppler du radar de Magny-les-Hameaux. Ils purent alors entendre et enregistrer, sur bande magnétique, le décalage Doppler, dont le son devenait plus aigu quand l'orientation de l'antenne se rapprochait de celle du vent. Roger Lhermitte devait ensuite passer par différents laboratoires de recherche américains : Air Force Cambridge Research Laboratory (AFCRL) à Boston, Sperry Rand à New York, Wave Propagation Laboratory (WPL) à Boulder, National Severe Storms Laboratory (NSSL) à Norman, pour s'installer plus durablement au début de la décennie 70 à l'université de Miami.

Roger Lhermitte maîtrisait aussi bien la technique de l'instrument que la théorie du signal, tout en ayant une connaissance approfondie de la physique de l'atmosphère. Son dynamisme lui a ainsi permis de rester, pendant plus de trente ans, constamment à la pointe dans son domaine, comme en attestent ses très nombreuses publications. Parmi ses réalisations postérieures à son départ pour les Etats-Unis, citons notamment : la mesure du vent par la méthode dite du VAD avec un radar Doppler, la mise au point de la méthode Pulse Pair pour extraire les vitesses Doppler, l'utilisation simultanée de plusieurs radars Doppler pour décrire les champs de vent dans les précipitations, la première publication sur le radar Doppler aéroporté, et maintes études sur les orages convectifs et la physique des nuages. Roger Lhermitte a longtemps été le seul à maîtriser deux techniques alors essentielles pour l'acquisition de données Doppler, celle de l'oscillateur cohérent (Coho) et celle du traitement du signal par *Pulse pair*, ce qui lui a permis de garder longtemps un temps d'avance sur ses collègues.

Joseph Saissac s'intéresse notamment à la turbulence. Il décrit ainsi l'utilisation d'une méthode photométrique pour l'étude de la diffusion verticale et étudie l'anisotropie de la diffusion à grande échelle.

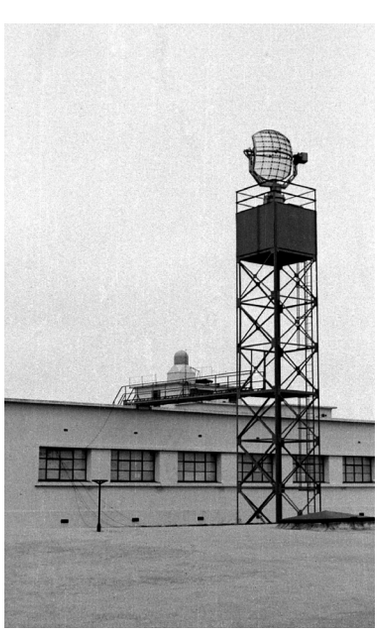


Photo 2 : Radar météo à effet Doppler de Magny-les-Hameaux vers 1960 (Photo C. Niclot)
Photo 3 : Radar bande X de R. Lhermitte vers 1952, qui se trouvait sans doute encore à l'observatoire de Trappes avant d'être déplacé à Magny-les-Hameaux, et copie d'écran PPI (Photo R. Lhermitte)

En 1963, des mesures de la diffusivité du sol sont entreprises. J. Saissac et C. Niclot réalisent une sonde destinée à explorer la couche de 7 à 25 cm de profondeur où l'on admet que le sol est homogène. Des mesures sont également faites à la station météorologique de Villacoublay. J. Saissac et C. Niclot procèdent aussi à l'installation de sondes destinées à la mesure du gradient vertical de température de la cuvette parisienne. Les données sont prises sur la Tour Eiffel et transmises au service de prévision de la DMN (Direction de la Météorologie Nationale) Avenue Rapp. En 1964, J. Saissac, C. Mercusot et C. Niclot réalisent un anémomètre-girouette pour mesurer les mouvements de l'air à une échelle fine. Cet instrument sera utilisé pour équiper le pylône de 100 m de Paris Nord afin d'analyser des conditions limites pour le futur aéroport Charles de Gaulle.

Marcel Petit étudie la vitesse ascensionnelle des ballons pilots dans les basses couches de l'atmosphère et effectue les premiers radiosondages avec un thermomètre à fil vibrant, qu'il perfectionnera pendant plusieurs années. Il dispose d'un laboratoire de mesures très perfectionné avec enceintes à vide, oscilloscopes et toutes sortes d'appareils de mesure, et utilise largement le service d'électronique de l'observatoire.

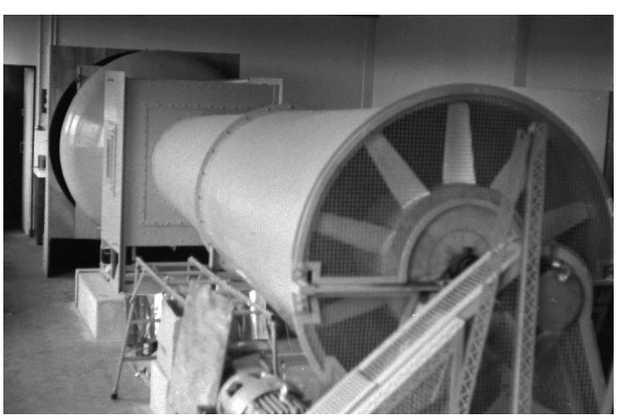


Photo 4 : La grande soufflerie de l'observatoire en 1959 (Photo C. Niclot)

Toujours dans le domaine des capteurs, Marcel Petit développe une thermistance à fil fin pour les sondages de température par fusée, avec la collaboration notamment d'André Petitpa, Charles Brosson ainsi que de Régis Juvanon du Vachat qui trouve-là une occasion d'appliquer à l'équation de la chaleur ses connaissances en analyse numérique (R. du Vachat et M. Petit, 1974). Le temps de réponse d'un capteur à fil fin dépend des constantes de temps du fil, de son support et des transferts conducteurs entre le fil et sa monture. L'étude montre que ces capteurs à fil de tungstène et de quelques microns de diamètre ont un temps de réponse très faible, de quelques millisecondes à pression normale pour des fils de 5 microns de diamètre. Ceci les rend intéressants pour les sondages par fusées, réalisés par Jacky Villain et son équipe, d'autant plus qu'ils présentent également d'autres qualités métrologiques dont, en particulier, une valeur élevée de leur coefficient de dissipation superficielle et une faible sensibilité au rayonnement. Il sera ainsi possible de mesurer la température de l'air sous rayonnement solaire sans employer d'écran. Pour les fusées-sondes (Arcas et super Arcas), les thermomètres sont composés d'un fil nu en tungstène doré, de 5 microns de diamètre et de 20 millimètres de longueur, soudé à ses extrémités à des fils de constantan de 30 microns de diamètre. Les mesures se font du sol jusqu'à 80 km d'altitude.

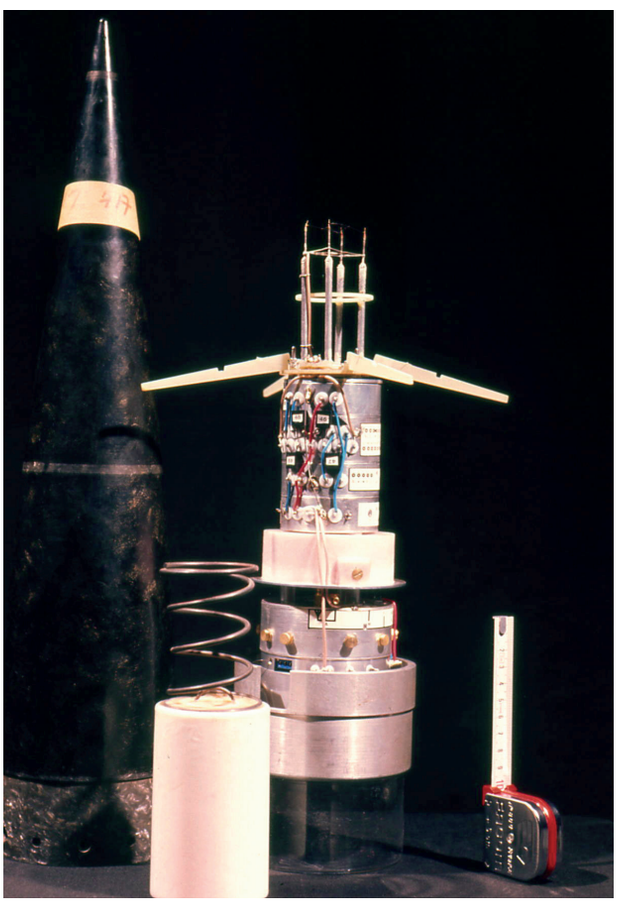


Photo 5 : Tête de fusée Arcas, en 1969, avec le module de mesure de température (Photo C. Niclot)

André Petitpa met au point un capteur de pression à ruban vibrant qui convertit en fréquence acoustique la force appliquée par une capsule anéroïde. Le système d'entretien des vibrations s'obtient à l'aide de deux petits bobinages fixés en regard du ruban à des ventres de vibration. L'un des bobinages capte les vibrations sous forme de force électromotrice induite à ses bornes, l'autre reçoit les courants amplifiés issus de la première bobine et assure l'excitation magnétique du ruban. La fréquence obtenue n'est liée qu'aux caractéristiques mécaniques de la bande et de la capsule. L'ensemble pèse 13 grammes et son volume est très réduit. Le principe de ce capteur a trouvé des applications dans plusieurs projets de l'EERM, notamment l'Aquasonde et les drones SAM.

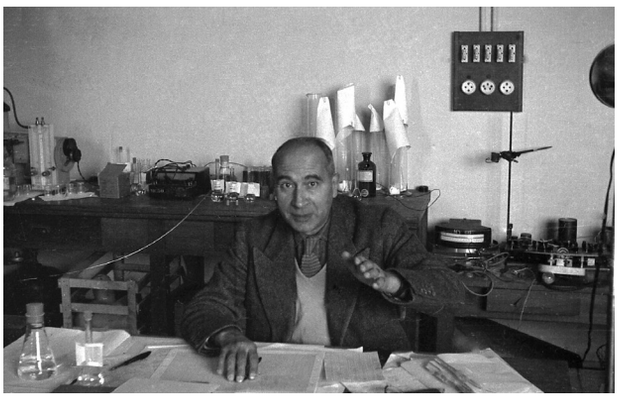


Photo 6 : Francis Borrel dans son laboratoire de chimie en 1960 (Photo C. Niclot)

Francis Borrel est entre autres un chimiste. Il a installé son laboratoire dans la partie centrale du bâtiment. Il excelle également dans la pratique du soufflage de verre, et a en charge le laboratoire de chimie et l'atelier de verre situé dans l'aile sud. Il procède au dosage d'ions dans l'eau des précipitations et s'intéresse à l'analyse chimique des eaux météoriques recueillies par échantillonnage fractionné ; il a ainsi conçu un pluviomètre automatique qui sera réalisé par M. Loury, chef de l'atelier. Le site de Magny-les-Hameaux héberge une des six stations de mesures françaises du réseau Rossby, lancé par C. G. Rossby en 1954 pour documenter les dépôts acides depuis la Scandinavie jusqu'au Congo Belge. F. Borrel réalise aussi des développements dans le domaine de l'actinométrie, en mettant au point un actinomètre à distillation puis un actinographe enregistreur concurrent du modèle anglais Casella.

Daniel Piat occupe un bureau à côté de celui de F. Borrel. Venant des Travaux Publics, il est chargé des souffleries. Il y étudie l'aérodynamisme des coupelles anémométriques et effectue de nombreuses visualisations et mesures en vue de déterminer les coefficients de traînée de divers types de grêlons. En tant que sous régisseur d'avances, Daniel Piat règle les salaires des ouvriers de l'Etat à la quinzaine et au mois.

Jean Roulleau et R. Genève s'investissent dans la physique des nuages. J. Roulleau examine ainsi la congélation de l'eau sous l'effet d'un champ électrique. R. Genève publie plusieurs notes sur la vitesse de chute et la croissance des grêlons.

Guy Froment développe un récepteur thermoélectrique adapté à la mesure du rayonnement atmosphérique et travaille sur l'émissivité de la vapeur d'eau atmosphérique. Il publie également des travaux sur l'absorption du rayonnement par la vapeur d'eau.

Jean-Jacques Théry, l'électronicien de l'observatoire, mesure la pression en observant le courant d'ionisation produit par des rayons alpha dans une chambre d'ionisation. Il développe aussi, entre autres, un intégrateur pour la mesure du rayonnement solaire.

Léopold Facy, qui deviendra par la suite chef de l'EERM, a travaillé dès au moins 1951 sur la microphysique et sur les aérosols, où il s'est acquis une réputation internationale (voir Facy, 1951 et Facy,1957).

Notons qu'il existait alors une collaboration avec l'université, puisqu'on trouve une note EERM d'Arlette Vassy sur la mesure de la répartition verticale de l'ozone. R. Lhermitte a également été suivi lors de sa thèse en doctorat par Etienne Vassy et sa femme Arlette Tournaire-Vassy. Ce couple occupait à cette époque une position académique élevée dans le domaine de la géophysique, pour ses travaux sur l'ozone atmosphérique, l'optique atmosphérique et, plus tard, le développement des fusées sondes.

En 1960, une partie du corps technique de l'EERM était installée au 196 rue de l'Université à Paris dans ce qu'on appelait les "petites écuries" du Palais de l'Alma, une annexe de l'Elysée située au 1 quai Branly. Jean Roulleau et sa femme Maud, chercheuse au CNRS, y travaillaient avec Etienne Vassy et sa femme Arlette Tournaire-Vassy. Le couple Vassy disposait d'un laboratoire à l'EERM rue de l'Université et venait fréquemment à Magny-les-Hameaux pour participer à des expériences. Les locaux des "petites écuries" ont par la suite été occupés par le service de climatologie du SMM (Service Météorologique Métropolitain) pour son centre de calcul avec le Bull Gamma 30, le service de la mécanographie, le bureau des contrôles climatologiques et les archives, qui, en 1971, comptaient 28 millions de cartes perforées. À noter que, au-dessus des petites écuries, la présidence de la République avait conservé des appartements où logea un temps, avec leur fille Mazarine, Anne Pingeot, la maîtresse du Président ; on voyait alors souvent le soir entrer par la porte cochère une conduite intérieure sombre, avec à l'arrière un monsieur couvert d'un chapeau à larges bords.

En 1963 Georges Dominique Barbé décrit un ensemble automatique de mesures en altitude. G. D. Barbé était aisément identifiable à ce qu'il portait un monocle, après avoir perdu un œil par accident au cours d'une partie de chasse organisée pour réduire la population de lapins sur un aérodrome. Les services de l'Aviation civile mènent en effet une guerre d'usure permanente contre tous les rongeurs qui provoquent des dommages importants en sectionnant les câbles installés le long des pistes, et ils n'hésitaient pas à l'époque à recourir aux moyens les plus extrêmes.

À la fin des années 1960, G. D. Barbé effectue des études sur les vents dans la basse stratosphère. Pour cela, il réalise des sondages par ballons en haute altitude jusqu'à 30 km (d'où le nom "HA" de cette unité). Les lancements ont lieu à partir de trois sites : Magny-les-Hameaux, Pithiviers et Chartres. G. D. Barbé a réuni à Magny une équipe solide pour réaliser des sondages à n'importe quelle heure du jour

ou de la nuit, pour suivre les ballons à l'aide de radars Cotal récupérés auprès de l'armée, et pour dépouiller les données en temps réel avec l'unité informatique qu'il a constituée. La plupart des membres de cette équipe ont effectué un séjour dans des îles désertes des Terres Australes, notamment aux îles Kerguelen.

Les activités de support étaient importantes, les équipes de l'observatoire réalisant souvent, elles-mêmes, les équipements et appareillages nécessaires à leurs recherches. L'atelier était très bien pourvu en machines-outils, machines avec lesquelles étaient notamment fabriquées la "plomberie" (c'est-à-dire les guides d'ondes) pour les radars, et les nombreuses pièces mécaniques nécessaires aux diverses expériences. Il y avait bien sûr un gardien, logé sur place avec son épouse, et un second ouvrier d'entretien. Dès qu'il le pouvait, et son service fini, le gardien Marius Trongko partait chasser les lapins au fond du terrain d'expérience où ceux-ci abondaient. En outre, quatre ouvriers mécaniciens et un menuisier étaient rattachés à l'atelier. L'atelier a vu, par la suite, son effectif passer à 9 personnes.

Le service de documentation est dirigé à partir de 1974 par Alain Burban, gentiment surnommé "Papa Doc". La "doc" commandait et conservait tous les livres et articles nécessaires aux chercheurs. A. Burban devait lutter en permanence contre la propension de certains chercheurs et techniciens à se constituer leur propre collection de publications, en transgressant la consigne qui était de garder tous les ouvrages au service de documentation, à la disposition de tous. L'accès à la photocopieuse était étroitement contrôlé par les secrétariats, en raison du coût élevé des photocopies.

Toutes les communications téléphoniques passaient par le standard de l'observatoire, tenu initialement par Marie Lelièvre et ensuite par Marie-Rose Joly puis par Michèle Beyneix. C'était la standardiste qui composait les numéros à appeler et les notait scrupuleusement sur un registre. Les appels personnels étaient interdits sauf cas d'urgence. Seuls les personnels les plus gradés pouvaient appeler la province ou l'étranger. Les pannes de téléphone étaient fréquentes, et la ligne fut plusieurs fois coupée pendant plusieurs jours en raison de travaux dans le voisinage. Il n'y avait pas non plus de Télex. Les messages devaient passer par le Télex du service de transmissions du Service météorologique métropolitain (SMM/TRANS), et n'étaient transmis à leur destinataire qu'une fois que le Chef de SMM/TRANS en avait pris connaissance.

L'observatoire vivait donc dans un certain isolement.

Photo 8 : L'atelier de mécanique de l'observatoire de Magny-les-Hameaux en 1960, avec Jean Lebunetel (Photo C. Niclot).

Photo 7 : En 1960, à la cantine, les chercheurs de l'observatoire attendent l'arrivée de Roger Lhermitte, de retour des Etats-Unis. Ils portent un nœud papillon, à l'instar de R. Lhermitte qui affectionnait cet accessoire. Au premier rang de D à G : Ducros, Foucras, Froment, Larroucau ; en face, de droite à gauche : Vavasseur, Brosson, Cazaubon, Niclot, Petitpa ; debout, de droite à gauche : Cassou, Fléchet (Photo C.Rebotier).

Les événements de mai 1968 et le développement de l'observatoire

(1968-1976)

J. Roulleau décède en 1964, et Louis Guiraud lui succède au poste de Directeur de l'EERM. L. Facy assurera la direction de l'observatoire jusqu'à sa nomination à la direction de l'EERM au départ à la retraite de L. Guiraud. En 1967, une poignée de jeunes polytechniciens arrive à la Météorologie nationale, parmi lesquels se trouvent Bernard Loitière, Claude Bahloul, Michel Rochas et Pierre Le Berre. S'y ajoute Constantin Pontikis, docteur ès sciences physiques, recruté par Léopold Facy. Ils sont affectés à la recherche et assureront un rôle important au sein de l'EERM et plus particulièrement de l'observatoire de Magny. À la même époque arrivent aussi les premières femmes chercheurs, qualifiées alors de "femmes savantes" : Andrée Estival/Le Trocquer, la première femme Ingénieure de la Météorologie, Christiane Brun, issue de l'Ecole de Physique et Chimie industrielle de Paris, et Arlette Rigaud qui sortait de l'Ecole de Chimie de Paris. L'observatoire se nomme alors le CREI (Centre de Recherches Expérimentales et Instrumentales).

En mai 1968 l'observatoire est occupé. Une assemblée générale des personnels est constituée, à l'instigation notamment de Jean Heissat et Jean Wagner. L'assemblée décide la grève et l'occupation des locaux. Un conseil de chercheurs se met en place. Des assemblées générales se tiennent en permanence pour débattre de la recherche et des questions sociales. À cette époque, l'EERM est dirigé par Louis Guiraud, et l'observatoire par Léopold Facy. Après quatre semaines d'ébullition, Louis Guiraud se rend à Magny-les-Hameaux pour reprendre les choses en main. Selon des témoignages de l'époque, il appelle alors la gendarmerie au téléphone en se disant séquestré par le personnel. Les gendarmes se présentent à la porte de l'observatoire, mais n'y entrent pas. Ils repartent rapidement, après avoir constaté que le Directeur de l'EERM est libre de ses mouvements. Le lendemain, L. Guiraud revient avec des enveloppes contenant une avance sur les primes de technicité en attendant le règlement des salaires non versés à ce jour compte tenu des jours de grève ; il effectue par la même occasion un pointage des grévistes.

L'observatoire restera profondément marqué par les événements de mai 68 et rêvera longtemps d'autogestion. La jeune génération est attachée à la liberté du chercheur et s'efforce de faire table rase du passé. Un comité de suivi est constitué pour surveiller l'application des promesses de la direction. Une association est aussi créée pour gérer le restaurant de l'observatoire, l'Association des usagers de la cantine de Magny-les-Hameaux (AUCMH), dont Claude Niclot sera le premier Président. Roger Darcel en sera alors le deuxième Président, Jean Wagner le secrétaire et Hubert Gorvan le trésorier. Le personnel était en effet fort mécontent de la qualité des repas livrés depuis le restaurant de Trappes, qui de plus arrivaient froids. Sollicitée par les personnels, la Direction de la Météorologie s'opposa à la création d'un restaurant indépendant à Magny les Hameaux. Une délégation incluant Roger Darcel et Claude Niclot obtint alors un rendez-vous avec Claude Collet, le Directeur du personnel et Chef de l'administration générale du Secrétariat Général de l'Aviation Civile, qui accorda sans difficulté la permission de créer ce restaurant et d'en confier la gestion à la nouvelle association. Il en résulta une nette amélioration de l'ordinaire. L'AUCMH sut également organiser très efficacement, par la suite, la fête de Noël pour les enfants du personnel, ainsi qu'un méchoui annuel.

Il faut noter que pendant la durée de la grève tout travail scientifique était arrêté, les piquets de grève ayant bloqué les laboratoires, excepté pour les expériences déjà engagées et pour l'équipe qui devait représenter la Météorologie nationale à Moscou dans le cadre des réunions annuelles de la coopération franco-soviétique sur les études de la haute atmosphère par fusées sondes. Cette équipe composée par L. Facy, J. Villain, B. Loitière, C. Brun et A. Rigaud a pu continuer la préparation de la réunion en étant autorisée, par les grévistes, à poursuivre son travail en laboratoire.

Les événements de Mai 1968 ont conduit L. Facy à restructurer les équipes de recherche, qui étaient réparties jusque-là en sections indépendantes (section Chimie, section Physique Théorique, section Haute Atmosphère, section Electronique, etc.), chacune comprenant ses propres éléments en termes d'infrastructure. En fin d'année 1968, les personnels de l'observatoire sont regroupés comme suit :

Services d'Infrastructure
• Secrétariat dirigé par Marie Lelievre
• Atelier dirigé par M. Loury

Sections de support technique
• Electronique (J. J. Thery)
• Bancs d'étalonnage des capteurs météorologiques de pression et température (M. Petit)
• Banc d'étalonnage humidité (R. Beving)

Départements de recherche
• Fusées (J. Villain)
• Physique-Chimie de l'Atmosphère (C. Pontikis)
• Composants mineurs et ozone (G. Froment)
• Haute Atmosphère (G. D. Barbé)
• Basses couches et pollution (L. Facy)

étaient surnommés Starsky et Hutch), et placés sous les ordres de Charles Godon. Les premières études concernent les transferts en ciel clair et la turbulence homogène. L'équipe s'est donc reconvertie dans les mesures au sol et les sondages dans les très basses couches. Cette évolution a posé de nombreux défis techniques, notamment pour la mesure du vent au voisinage du sol à l'aide d'un radar de poursuite de ballons. Une radiosonde spécifique est développée par Jean Heissat, qui sera industrialisée par la société Fortier. En effet, la radiosonde Mesural utilisée pour les besoins du réseau d'observation de la Météorologie nationale ne permet pas d'obtenir de mesures suffisamment fines dans les basses couches de l'atmosphère.

La première campagne sur les basses couches de l'équipe conduite par G. D. Barbé se déroule en juin 1970, à Châteauroux, sur le terrain laissé libre par la fermeture de la base aérienne de l'armée américaine consécutive au retrait de la France du commandement intégré de l'Otan. Cette campagne est suivie en 1973 par celle de Lille, pour l'étude de l'îlot de chaleur dans le centre-ville. À cette occasion, il est mis en place, non sans difficultés, un sondage par ballon captif. D. Lambergeon (2019) relate son expérience en tant que stagiaire dans l'équipe EAL en 1973.

Photo 9 : Essai de dispersion d'un nuage d'ammoniac, en 1967. L'équipe basses couches est sollicitée pour y effectuer des mesures météorologiques (Photo C. Niclot)

Dans les années suivant 1968, les activités expérimentales sont intenses. Au départ en retraite de G. D. Barbé, Pierre Le Berre prend en charge en 1971 son équipe à laquelle est adjointe une unité scientifique constituée de Jean-Paul Goutorbe et Andrée Le Troquer, sur le site de Paris Alma. L'objectif de cet ensemble, désormais nommé EAL pour Etudes de l'atmosphère libre, est l'étude des transferts entre le sol et l'atmosphère, dont la connaissance est nécessaire pour la modélisation de l'atmosphère, donc pour la prévision numérique en plein développement. L'équipe EAL est nombreuse, constituée de personnes qui ne rechignent pas à partir en mission pour de longues périodes, et dont beaucoup ont fait des séjours prolongés aux îles Kerguelen ou en d'autres lieux isolés. Des informaticiens et des électroniciens très compétents ont aussi été engagés, comme Alain Lelièvre, Jean-Luc Sanson, Maillach et Seveque (ces deux derniers

Pour répondre à la demande de l'équipe scientifique de l'EERM basée à Paris/Alma, d'autres campagnes sont entreprises, cette fois dans des plaines du sud de Chartres, près de Voves, puis en Picardie au nord-est de Roye où des moyens aéroportés sont utilisés. Un avion Aérocommander est mis en œuvre par l'Institut national d'astronomie et de géophysique (Inag), et effectue des vols très près du sol, à 200 pieds d'altitude. L'équipe EAL permet de répondre aux demandes d'autres entités, comme EDF. L'expérience acquise en France permettra à l'équipe de participer à des missions lointaines dans le cadre de campagnes internationales. La mise en place, souvent lourde, des moyens techniques lors de chaque mission fit prendre conscience de l'utilité de regrouper les équipements nécessaires dans des moyens mobiles, ce qui, à la fin des années 70, donna naissance à 4M, les Moyens Mobiles de Mesures Météorologiques décrits au chapitre suivant.

Le CERAM et les 30 ans de l'EERM
(1968-1976)

Leopold Facy est admis à faire valoir ses droits à la retraite au printemps de 1974. Adelin Villevieille, qui dirigeait le Centre de météorologie spatiale de Lannion (CMS), lui succède à la tête de l'EERM. Des problèmes administratifs vont retarder son installation définitive à la direction qui se trouve alors à Boulogne-Billancourt. Il va réorganiser l'EERM dès le mois de novembre 1974.

L'observatoire devient le CERAM (Centre d'Etudes et de Recherche sur l'Atmosphère et la Météorologie). Christian Perrin de Brichambaut assure pendant quelques mois la direction de l'observatoire et sera remplacé par Henri Augustin qui sera nommé ensuite directeur adjoint de l'EERM.

La réorganisation effectuée par A. Villevieille comporte la création de quatre groupes de recherche à l'automne 1974 :

GMA : Groupe de météorologie appliquée, dirigé par Michel Rochas et situé à Magny

GMD : Groupe de météorologie dynamique, dirigé par Daniel Rousseau et situé à Paris

GMI : Groupe de météorologie instrumentale, dirigé par Bernard Loitière et situé à Magny

GMP : Groupe de météorologie prospective, dirigé par Claude Pastre et réparti sur plusieurs centres

Par ailleurs, une solide équipe de communication, dénommée PAD (Photo, Audio, Diffusion) est créée au siège de l'EERM situé alors à Billancourt, dirigée par Claude Harrang et Eric Backelandt. Elle est dotée de moyens de photographie, de cinématographie et de reproduction importants et plus facilement accessibles aux chercheurs que les moyens de la DMN, situés au CTM à Trappes.

A. Villevieille va s'installer à Boulogne à l'automne 1976.

L'année 1978 marque le trentième anniversaire de l'Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques. La brochure dactylographiée éditée à cette occasion fait le point sur les activités qui se tiennent

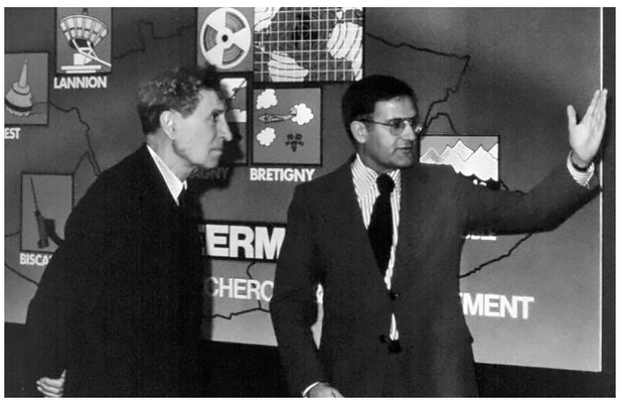


Photo 10 : A. Villevieille, à droite, présentant en 1978 l'EERM au Président de l'Académie des sciences Jean Coulomb (Photo C. Niclot).

Parmi les personnalités extérieures à la Direction de la Météorologie, nous avons noté la présence de (par ordre alphabétique):

MM. ABRAHAM, Directeur général de l'Aviation Civile; ANTOINE, Directeur des Programmes et Recherches du MECV; BARRERE, Directeur scientifique ONERA; BERROIR, Directeur du LMD; BIREN, Directeur de l'Agence de l'Air; le Professeur BLAMONT, Directeur du Laboratoire d'aéronomie du CRNS; BLOND, Président de l'Aéroclub de France; BONGRAIN, Directeur à la DRET; BOUCQUEREL, Directeur adjoint de l'INAG; CONTENSOU, Directeur général de l'ONERA; COUZY, Directeur de l'OPIT; F. DELMAS, Secrétaire d'Etat à l'Environnement; FOULOUZE, Directeur du GTGREF; GOETZINGER, Chargé de mission au Ministère des Transports; GUITARD, Inspecteur général de l'Equipement; HIEBLOT, Directeur du CRPE; Colonel HUOT, Chef de la GDTA; LABEYRIE, Directeur de laboratoire au CNES; DE LAMARE (DGRST); LA PRAIRIE, ancien PDG du CNEXO; LEBEAU, Directeur de l'ASE; MANGENOT (IGAC); MARTIN, Haut fonctionnaire de la Défense; MARZIN, Sénateur des Côtes du Nord; Président de la SMF; MELCHIOR, PDG de SOFREAVIA; le Professeur MOREL; Directeur des programmes du CNES; G. MEUNIER, Président de l'IGAC, PIKETTY, PDG du CNEXO; ROSE, Directeur du Palais de la Découverte; ROGNON, Directeur adjoint de l'ANVAR; ROUX, Directeur d'ECOPOL; De St SAUVEUR, Président de l'Aérostation de France; TAILLET, Directeur à l'ONERA; TAZIEFF, Vulcanologue,. . .

Photo 11 : Liste des personnalités ayant visité l'observatoire de Magny-les-Hameaux en 1978 à l'occasion des 30 ans de l'EERM (Photo P. Garnier)

Trois journées portes ouvertes sont organisées les 10, 11 et 12 mai 1977 pour faire connaître l'EERM, manifestation à laquelle vont participer une centaine de responsables de la recherche et de l'administration. Les deux premières journées se passent au siège de la Météorologie nationale à Boulogne, salle Le Verrier.

Le 10 mai, des responsables de Magny-les-Hameaux sont impliqués dans la présentation de leurs projets et programmes. Les programmes du GMA sont présentés par Michel Rochas et ses collaborateurs : programmes 4M par Patrick Van Grunderbeeck, surveillance de la stratosphère par Marc Boulanger, simulation hydraulique appliquée à la pollution par Michel Perrier.

Le 11 mai, les thèmes abordés sont le projet INO (Inhibition des échanges océan-atmosphère) par Arlette Rigaud, l'étude des systèmes convectifs par Marc Gillet, et les programmes du GMI : Omegasonde par Bernard Loitière, Aquasonde par Vladislav Klaus, Lidar par Didier Renaut, Marisonde par Marcel Petit et programmes SAM et Dinosaure par Marcel Zéphoris.

Le 12 mai est consacré aux activités du CERAM sur le site de Magny-les-Hameaux : Catasonde, fusée-sonde, Omegasonde, SMP (station de poche), Vesta, Aquasonde, Chimène (cuve tournante, veine hydraulique), chambre à nucléation, Sodar, Lidar, Sarbasonde et SAM.

Ces trois journées vont préparer les responsables et collaborateurs de l'EERM au 30e anniversaire de cet établissement qui se tiendra l'année suivante.

à l'époque à Magny-les-Hameaux. Magny y est présenté comme le grand centre voué à la météorologie de l'environnement. On y développe des instruments et des véhicules nouveaux pour une meilleure exploration de l'atmosphère. Un système de collecte et d'analyse de données sur site et une veine hydraulique de simulation environnementale figurent parmi les grands programmes de l'observatoire.

Quelques jours avant cet anniversaire, l'observatoire reçut la visite du ministre de tutelle des transports, Joël Le Theule, accompagné de son conseiller technique François Fillon. Après un bref exposé par A. Villevieille, dans la salle qui servait de bibliothèque, ils firent une visite complète de l'observatoire. Le directeur de la Météorologie nationale n'avait pas été invité à cette visite de son ministre de tutelle.

Pour les 30 ans de l'EERM, A. Villevieille tenait beaucoup à la présence de deux personnalités : Pierre Aigrain, secrétaire d'Etat à la Recherche et Jean Coulomb, qui présidait l'Académie des Sciences. Ces deux personnalités ont bénéficié d'un traitement à part. Pierre Aigrain n'étant pas libre le jour voulu, sa visite fut organisée l'avant-veille au soir. Le secrétaire d'Etat arriva accompagné par les voitures de sécurité, le soir vers 18 heures, et fit une visite de choix avec toutes les équipes de Magny présentes sur leur lieu de travail. L'académicien Jean Coulomb ne pouvait venir que le lendemain, le samedi matin, et à nouveau tout Magny fût donc consigné. Il semble que par la suite Pierre Aigrain ait beaucoup aidé à conforter le budget de l'EERM.

Les souffleries et les veines hydrauliques

Dans maints domaines, il est fait appel à des méthodes de simulation sur modèle reproduisant tels ou tels phénomènes physiques à échelle réduite. C'est le cas en particulier pour certains phénomènes atmosphériques liés aux écoulements turbulents des basses couches, cadre principal de notre environnement. Dans cette optique, l'EERM a développé dès 1966 des méthodes de similitudes aérauliques et hydrauliques des basses couches de l'atmosphère et des divers phénomènes qui s'y produisent (effets dynamiques du relief, diffusion de polluants, sillage de structures, …), en utilisant notamment une des souffleries de l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr l'Ecole.

Cependant, cette installation, mise à disposition de l'EERM pour ses études, présentait un gros handicap : une soufflerie Dassault installée dans le même corps de bâtiment perturbait les écoulements de l'air sur les maquettes. Une soufflerie basses vitesses est alors installée à Magny dans le pavillon de l'ex-gardien. Sa réalisation a été effectuée par

Photo 12 : L'observatoire sous la neige au cours de l'hiver 1978-1979, vu depuis le pylône de mesure situé au fond du terrain d'expérimentation. On remarque l'aérien du radar Ronsard posé sur le toit du bâtiment principal, et aussi, à droite, une des deux baraques de type Fillod qui ont été ajoutées au début des années 1970 pour abriter les développements de l'équipe EAL-4M. (Photo C. Niclot)

Photo 13 : Soufflerie basse vitesse installée dans le pavillon du gardien, en 1978 (Photo C. Niclot)

Photo 14 : Les responsables de la veine hydraulique, Michel Perrier, Claude Niclot et Michèle Niclot, en conversation avec le directeur de la Météorologie, Jean Bessemoulin, en 1975 (Photo M. Debeugny)

l'équipe de l'atelier de mécanique, d'après les directives d'un ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique, M. Mosé, intégré temporairement à l'équipe de l'observatoire.

C'est en 1968, sous la direction de Michel Perrier, que la veine hydraulique Chimène 1, d'une longueur de 7 mètres sur 1,10 m de largeur avec une lame d'eau de 0,50 m de hauteur, a été développée au Centre de Magny-les-Hameaux. Ce nouveau dispositif de simulation a permis de réaliser des comparaisons avec les études d'impact de pollution initialement effectuées à l'Institut de Saint-Cyr et reprises dans la soufflerie basse vitesse de Magny : Vernon (risques majeurs liés au stockage des ergols servant de carburant pour les fusées), pollution pétrochimique dans les valleuses près de Rouen, écoulement autour du château d'eau de Roissy pour une éventuelle installation d'un mât de mesures météo sur son sommet.

Pour la simulation physique de l'atmosphère avec Chimène-1, après de nombreux essais et études comparatifs, la simulation en canal hydraulique a été retenue du fait d'une plus grande facilité de visualisation dans l'eau que dans l'air. À nombre de Reynolds égal, la vitesse est en effet 13 fois moindre et des gradients de densité importants peuvent être obtenus à l'aide de saumures.

C'est aussi avec Chimène 1 que sont réalisées les études sur les impacts des sites de pétrochimie depuis Le Havre jusqu'à Rouen, de l'implantation des centrales nucléaires (emplacement des aéro-réfrigérants) de la vallée de la Meuse (Chooz-Fumay) et du Rhône (Marcoule-Saint Etienne des Sorts), des émissions de poussières des carrières d'extraction et des cimenteries (rive droite du Rhône, Vivier, Le-Teil). Chimène 1 a permis l'étude de nombreuses applications pratiques : écoulements autour d'obstacles et de reliefs (sillages, trajectographies, analyses de profils de vitesse et de turbulence, détermination des vitesses induites ...). Il était ainsi possible d'obtenir rapidement les différentes répartitions de concentration de polluants au niveau du sol. Une méthode de visualisation globale a été développée, la méthode colorimétrique. Elle donne directement, sur le modèle à 1/10 000 du site, le tracé des iso-concentrations pour plusieurs points d'émission et pour un ensemble de paramètres météorologiques, après analyse des prises de vue photographiques et cinématographiques. Un court-métrage (Météorologie et pollution) a été monté par C. Niclot et diffusé dans les régions. Il a été présenté au concours du film scientifique.

À la suite des nombreuses études de sites réalisées, il est apparu que l'installation Chimène 1 existante présentait certaines limites dans ses possibilités de simulation, en particulier en ce qui concernait les échelles de similitude (réalisation de couches limites turbulentes, d'atmosphère stratifiée, …). La définition d'une veine hydraulique de grandes dimensions et à stratification, pouvant tenir compte de ces exigences, a donc été étudiée en vue de la future implantation sur le site du Mirail à Toulouse.

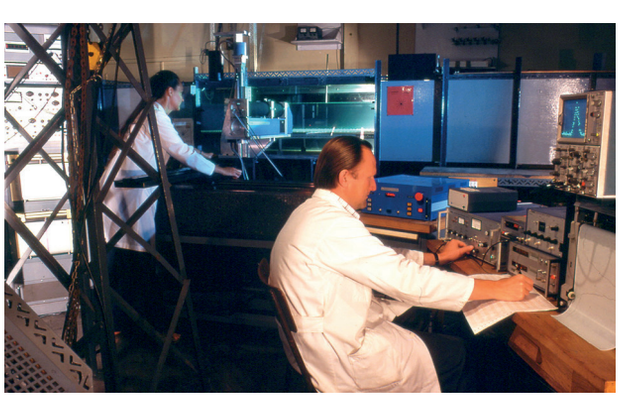


Photo 15 : La veine hydraulique Chimène 1 en 1977. Michel Perrier surveille les réglages, avec Michèle Niclot qui se trouve au second plan (Photo C. Niclot)

L'équipe "veine hydraulique" a reçu plusieurs dénominations successives : TBC (Turbulence Basses Couches), SPA (Simulation Physique de l'Atmosphère), SPEA (Simulation Physique des Ecoulements de l'Atmosphère).

La nouvelle organisation faisant suite au changement de direction de l'EERM en 1976 met l'accent sur les structures administratives et les thèmes de recherche. C'est pourquoi les études environnementales sur Chimène 1 sont progressivement abandonnées. L'équipe de M. Perrier se lance alors dans la mise au point de nouvelles techniques instrumentales permettant des mesures quantitatives : champs de vitesse horizontaux et verticaux, paramètres de la turbulence, anémométrie laser et à film chaud. Les mesures qualitatives sont améliorées avec l'utilisation du plan lumineux laser (C. Niclot). Associée à la photographie et au film, cette technique à rendu possible la découverte de certains détails des écoulements tels que les retours, les déviations, les rotors, … Elle constitue un moyen simple pour positionner les sondes de mesure en des points significatifs de l'écoulement.

À la suite de ces changements, l'équipe SPA, initialement intégrée au groupement GMEI, est rattachée au Groupe de Météorologie Appliquée (GMA), sous la direction Michel Rochas, chargé du développement du programme de la cuve tournante Chimène 2. Le prototype d'anneau fluide baptisé Chimène 2, destiné à l'étude des mouvements atmosphériques à grande échelle, est réalisé en utilisant la plate-forme supportant l'aérien d'une tourelle radar de poursuite et de conduite de tir antiaérien de type COTAL (radar de COnduite de Tir de l'Artillerie Lourde) réformé. Les nombreux radars Cotal qui meublent le terrain de l'observatoire ont été acquis au moment où les armées les réformaient, pour effectuer des mesures de vent en altitude aux îles Kerguelen. Leur fonctionnement et leur maintenance sont assurés à Magny-les-Hameaux par Claude Delélée Desloges, lui-même un ancien de Kerguelen.

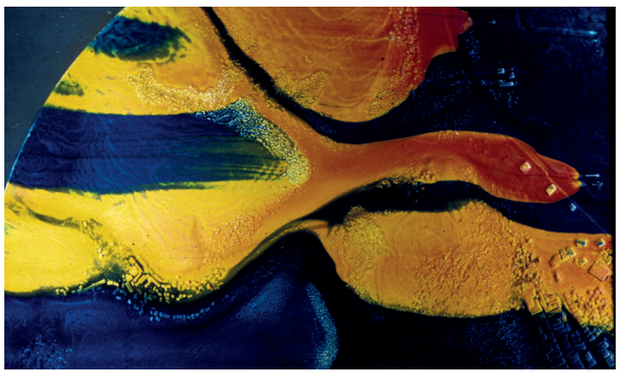


Photo 16 : Chimène 1 - essais de colorimétrie en 1972 sur le site des valleuses près de Rouen (Photo C. Niclot)

Après des études qualitatives effectuées sur le prototype, la construction d'une cuve expérimentale a été confiée aux Ateliers de Mécanique de Boulogne-Billancourt. Composé de deux cylindres

Photo 17 : Démontage en 1972 de la tourelle d'un radar Cotal pour l'utiliser sur la cuve tournante Chimène 2. On reconnaît Michel Perrier portant son habituelle blouse blanche et Claude Niclot, de 3/4 en short (Photo M. Niclot)

concentriques, cet anneau est solidaire d'une table tournante de 1,50 m de diamètre dont la gamme de vitesse peut varier de 0 à 60 tours/minute. Les parois intérieures et extérieures des cylindres, respectivement froide pour le cylindre central et chaude pour l'extérieur, permettent de reproduire les régimes polaire et tropical de l'hémisphère nord. Des variations du gradient radial de température et de la vitesse de rotation engendrent diverses formes de circulation (régime axisymétrique, ondes périodiques, anticyclone-dépression). L'immersion d'un modèle physique bidimensionnel équivalent en échelle à la cordillère des Andes a mis en évidence la perturbation de l'onde barométrique par l'onde orographique.

Ce type de veine hydraulique en forme de cuve tournante n'a pas été développé ultérieurement à cause de la concurrence de la simulation numérique qui a mis fin au projet avant le départ à Toulouse. Il eut fallu construire un système de la taille de la plate-forme Coriolis à Grenoble (une vingtaine de mètres de diamètre !) avec un relief reproduisant celui de l'hémisphère nord. Chimène 2 a cependant été conservée à des fins didactiques au CNRM à Toulouse.

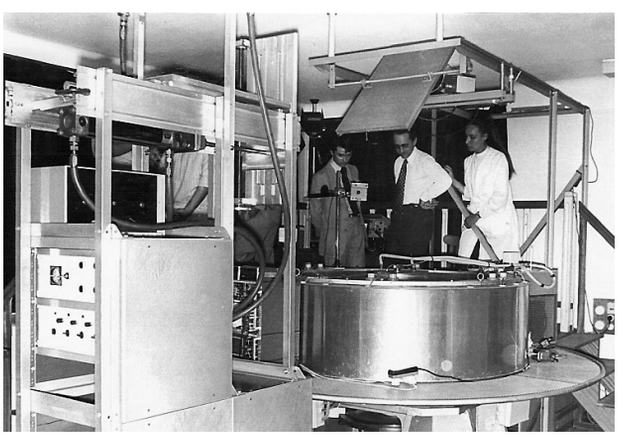


Photo 18 : La veine tournante Chimène 2 en 1977, faisant l'admiration d'Henri Augustin guidé par Michèle Niclot (Photo C. Niclot)

Photo 19 : Les deux remorques Heuliez de 4M en 1978 (Photo C. Niclot)

Les Moyens mobiles de mesures météorologiques 4M

Afin de développer et améliorer ses systèmes de mesures et pour participer dignement à des campagnes nationales et internationales de mesures, l'EERM établit un cahier des charges concernant un centre météo mobile pouvant être autonome. Ce programme est devenu un projet à partir de 1978. Dès lors qu'il s'agissait de Moyens Mobiles de Mesures Météorologiques, il fallait des véhicules. Certains seront récupérés de l'ancien service HA (Haute Altitude) de G. D. Barbé, devenu entre-temps EAL. Deux semi-remorques Heuliez sont acquises et entièrement équipées, l'une pour héberger les moyens techniques et l'autre en tant que base de vie. Du point de vue des mesures, 4M possède une véritable station de radiosondage avec un petit radar de poursuite Zéphyr pour la mesure du vent, des stations automatiques de mesure des paramètres température, pression, humidité et vent avec un mât pour la réception/transmission. 4M sera pourvue d'autres types de capteurs. Pour les mesures basses-couches, on ajoutera un ballon captif. Les moyens informatiques complètent ce centre météorologique mobile avec un ordinateur Solar 16-65, produit par la société Télémécanique, muni de ses périphériques avec des ordinateurs HP 9825 et 9845S. L'ensemble de ces moyens permet le traitement des données en temps réel avec sécurité grâce à un onduleur de 1000 VA. Au retour des campagnes de mesure sur le terrain, 4M fournit aux chercheurs des bandes magnétiques contenant toutes les informations relevées. C'est l'industriel français Omera qui a été chargé d'intégrer les moyens informatiques. 4M fut placé initialement sous la responsabilité de Pierre Le Berre, avec une équipe importante comprenant André Amat, Georges Beyneix, Maurice Cailleau, Dominique Champeaux, Denis Cheymol, Claude Delélée-Desloges, Paul Dumas, Claude Gerbier, Emmanuel Gizard, Charles Godon, Jean-Paul Goutorbe, Jean Heissat, Guy Lachaud, Daniel Lavenu, Alain Lelièvre, Jacques Lemieuvre, Marc Payen, Pierre Rainteau, Joël Riondet, Philippe Salomon, Jean-Luc Sanson, Gilles Testa, Quoc Phong Tran, Patrick Van Gründerbeeck.

4M sera largement utilisé dans de nombreuses campagnes de mesure, dont la plupart de celles qui sont mentionnées au Chapitre 7.

Photo 20 : Une partie de l'équipe 4M. De gauche à droite : Jean-Luc Sanson, Marc Payen, Denis Cheymol, Philippe Salomon, Guy Lachaud

L'instrumentation

Divers développements sont conduits sur les stations de mesure automatiques, comme le projet Miniclim avec Jean Wagner et les stations automatiques associées à l'équipe 4M. Les projets relatifs aux mesures en altitude sont nombreux et variés. Des sondages à haute altitude sont réalisés à l'aide de fusées en Guyane et au Centre d'essais des Landes de Biscarrosse. L'observatoire travaille également à l'amélioration des équipements de radiosondage par ballon dans le cadre du projet Aérosonde, conçue en "tout électronique". On développe des sondes lâchées d'avion, la Catasonde et l'Aquasonde. La Catasonde consiste en un projet de radiosondage classique de "dropsonde", larguée en chute libre depuis un avion, technique déjà utilisée lors de la PEMG (Première Expérience Mondiale du Garp) par les équipes anglaises et américaines.

Le projet Aquasonde de 1976 à 1984

Le projet Aquasonde a démarré début 1976 avec Jean-Pierre Maréchal comme chef de projet. Jean-Louis Champeaux prend sa suite début décembre 1976 avec sa première affectation à EERM/Magny/GMI en sortie d'école. Durant tout le projet, de 1976 à 1982, il est accompagné par les très inventifs et astucieux collègues Guy Sennequier et Hervé Lebrun.

Les divers mécanismes qui conduisent à la formation des précipitations étaient encore mal connus dans les années 1970. La mesure *in situ* a progressé grâce au développement de l'instrumentation aéroportée avec l'introduction de techniques optiques de type Knollenberg. Cependant, les avions instrumentés ne peuvent faire que des coupes quasi-horizontales alors qu'il est nécessaire d'avoir une représentation verticale des spectres dimensionnels de gouttelettes dans un laps de temps court.

Début 1976, l'EERM lance donc un projet pour développer une sonde descensionnelle de petite taille, l'Aquasonde, destinée à mesurer le spectre dimensionnel des gouttes (10-200 microns) dans les nuages. Ce projet était un défi technologique pour l'époque, surtout dans le domaine de l'optique, mais aussi de l'électronique et de l'aérodynamique. L'étude et le premier prototype sont réalisés par l'ingénieur-chercheur André Roussel de l'Institut d'optique d'Orsay.

Une expérience d'étude des nuages chauds utilisant l'Aquasonde a été organisée, fin août-début septembre 1978, par Jean Pierre Chalon (EERM/GMP), à Captieux, dans le sud-ouest de la France, avec la collaboration de l'Institut et Observatoire de Physique du Globe du Puy de Dôme (IOPG). Elle mettait en œuvre le radar millimétrique (8,6 mm de longueur d'onde) de l'IOPG, l'avion instrumenté Cessna 206 de l'EERM (photo 22) et huit prototypes de l'Aquasonde (Chalon et al., 1979). Il avait été décidé de larguer les sondes sur le camp militaire de Captieux, dans les Landes ; le Cessna 206 de l'EERM avait été équipé par le CEV d'une trappe de largage et du système de réception des données. Le PC de l'expérience était basé à Mérignac dans les locaux de la Direction régionale. La période avait été choisie après une étude climatologique. Hélas, la climatologie est une chose et la météo quotidienne en est une autre, si bien que l'équipe est restée près de 5 semaines sans voir l'ombre d'un nuage, avec chaque matin un briefing déprimant : "CAVOK" et des après-midis de désœuvrement sur le bassin d'Arcachon ! Au bout de la 5e semaine, une situation favorable s'est enfin présentée, récompensant les efforts consacrés et fournissant des données exploitables sur la structure fine des nuages chauds et les processus microphysiques qui accompagnent leur développement (voir Chalon et al., 1980).

Des lancers d'Aquasonde eurent ensuite lieu lors de l'expérience PAP-80 à Valladolid. Outre ces largages, une Aquasonde avait été placée sur le nez du Piper Aztec. La veille du départ à Valladolid du Piper, on s'aperçut que l'interface de numérisation des signaux contenait un bug, le bit de poids fort passant à 1 aléatoirement. Le chef de projet et M. Gatti de la société LEEM ont dû passer tout le week-end de Pâques 1980 à chercher le bug, qui n'a pu être corrigé qu'une semaine plus tard.

Photo 22 : Le Cessna 206 de l'EERM depuis lequel étaient larguées les Aquasondes, en 1980 (Photo C. Niclot)

Lors de l'expérience PAP-81, toujours à Valladolid, les Aquasondes et leur système de traitement étaient beaucoup plus rodés. Les Aquasondes, qui ont été larguées plus de 60 fois depuis le Cessna 206, ont toutes été récupérées. Cela a donné quelques scènes surréalistes dans la campagne reculée de la province de Valladolid, où l'équipe de Magny, arrivant dans un 4x4 Lada-Niva prêté par l'équipe soviétique, a sillonné les champs de la vieille Castille en courant, l'antenne à la main, pour récupérer les sondes sous les yeux ébahis des paysans en sabots !

En plus de son utilisation pendant les expériences Captieux 78 et PAP, l'Aquasonde a été utilisée dans la chambre à nuages développée à Magny par C. Pontikis et A. Rigaud.

Pour se rendre compte de la prouesse technologique réalisée par l'Institut d'optique, il suffit de comparer la taille de l'Aquasonde (20 cm) à la taille de l'appareil américain Knollenberg (100 cm) ! Lors de la présentation dans les hangars de Valladolid, au cours de l'expérience PAP-81, les russes et les américains sont restés pantois devant la petite taille de l'Aquasonde.

Le principe de la mesure consiste à recevoir sur un photodétecteur, placé à 30° par rapport au flux incident, l'énergie diffusée par la gouttelette d'eau lorsque celle-ci traverse le volume éclairé. Le volume de mesure est un parallélépipède droit à bords nets de 1 mm^3. La source lumineuse est une lampe aux halogènes et l'élément sensible une photodiode PIN 5D (photo 21).

Toute la réussite de l'instrument tient dans la transition brutale de l'éclairage du volume de mesure afin de limiter les effets de bord. Une étude par modélisation de ces effets de bord et des coïncidences dans le volume de mesure a été menée par V. Klaus et J-L. Champeaux (Klaus et al, 1977 ; Champeaux et al, 1981).

Pour valider ce prototype, l'équipe de Magny a mis au point une platine micrométrique (en fait un vieux rasoir électrique !) sur lequel un fil de 4 microns a été tendu avec des billes de verre collées sur le fil, afin de simuler le passage des gouttes d'eau dans le volume de mesure. Quelques mois plus tard, avec l'aide de Jacques Decreux, qui a une compétence de souffleur de verre, le système d'étalonnage est perfectionné en fabriquant un banc de calibration en circuit fermé, de manière à injecter des billes de verre ou de latex de diamètre connu dans le volume de mesure, en faisant varier vitesse et concentration.

Afin de réaliser la présérie d'Aquasondes, avec l'aide de l'Institut d'optique, il est décidé de confier l'industrialisation à la société Angénieux, spécialisée dans la réalisation d'optiques de haute précision. Angénieux est basé à Saint-Heand près de Saint-Etienne. Lorsque Jean-Louis Champeaux et Bernard Loitière rendent pour la première fois visite à l'industriel, le responsable d'Angénieux les emmène déjeuner le midi dans une toute petite auberge fréquentée par le joueur de foot, vedette internationale de l'époque, Dominique Rocheteau ; celui-ci est venu saluer les convives, ce qui a laissé un souvenir impérissable au footballeur qu'était J.L. Champeaux !

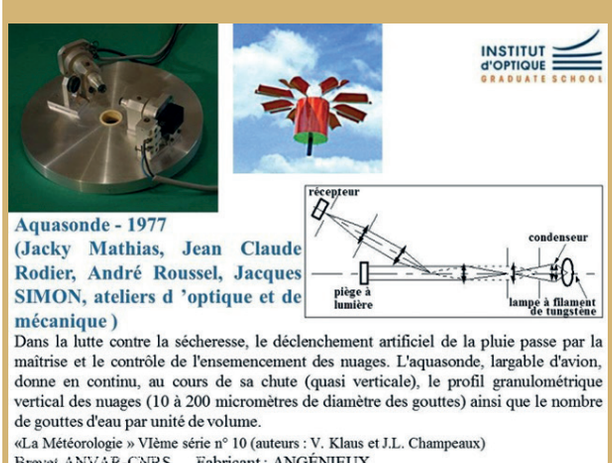


Photo 21 : Le principe de fonctionnement de l'Aquasonde (Photo J.L. Champeaux)

Lors de la réception en usine de la présérie de 10 sondes effectuée avec A. Roussel, le volume de mesure n'était pas conforme aux spécifications de l'Institut d'optique et il fut nécessaire de refuser le lot, alors que l'expérience PAP se profilait quelques semaines plus tard. Jeune ingénieur un peu anxieux des conséquences, J.L. Champeaux se souvient de ce moment, en fin de journée, où le Président directeur général d'Angénieux, André Masson, est venu faire un point de situation ; après avoir écouté les arguments, il a immédiatement ordonné à ses ingénieurs de production de refaire la présérie, et surtout de tenir les délais. Depuis ce jour-là, la ligne téléphonique demeura ouverte vers ce grand monsieur qu'était André Masson !

Le deuxième défi est d'ordre électronique : les signaux correspondant au passage des gouttes, ainsi que la donnée pression obtenue avec le capteur pression d'André Petitpa, sont transmis en analogique par l'intermédiaire d'un émetteur en 400 Mhz et reçus à bord de l'avion. Charles Brosson, l'un des responsables du labo d'électronique de Magny, apporte les explications et conseils techniques, et fait profiter l'équipe de son carnet d'adresses, permettant ainsi d'avoir les meilleurs sous-traitants dans le domaine de la numérisation et dans le domaine de la haute fréquence.

La partie analogique-numérique est confiée à un laboratoire électronique de Versailles, petite structure très réactive. La partie HF émission-réception, après un échec avec une entreprise spécialisée dans la HF, est réalisée par un bricoleur de génie dans sa villa du Vésinet où les émetteurs sont réalisés au compte-goutte ; J.L. Champeaux passe des nuits blanches à attendre les derniers réglages, car la partie analogique est très complexe.

Le troisième défi est la partie aérodynamique de l'Aquasonde. Le problème des mesures in situ est d'assurer un échantillonnage le plus représentatif de la réalité ; en l'occurrence, la sonde doit perturber le moins possible le milieu. Le premier système testé en soufflerie, est un système à ailettes concaves qui donne une vitesse de chute de 11 m/s. Un largage avait été effectué au-dessus du centre de Magny pour filmer la stabilité. Cependant ce système d'ailettes s'est révélé malcommode de mise en œuvre ; un deuxième système, composé d'un parachute cruciforme a été développé, limitant la vitesse de chute à 4 m/s.

En raison du coût élevé de chaque sonde, l'objectif était de les récupérer au sol. Il fallait pour cela amortir l'impact à l'atterrissage. Le directeur adjoint de l'EERM, Henri Augustin, prenant exemple sur le module lunaire Apollo, avance même l'idée de pattes tenues par du velcro pour absorber l'énergie due au choc. Finalement, c'est un embout profilé en polyuréthane qui constituera le "nez" de l'Aquasonde. Un artisan local, qui fabriquait des statuettes en imitation ivoire, fut choisi pour réaliser les moulages nécessaires à la fabrication de cet embout.

Pour récupérer les sondes, un système de radiogoniométrie avait été développé par le concepteur des émetteurs/récepteurs et permettait, à bord de l'avion ou d'un véhicule au sol, d'obtenir la direction dans laquelle se trouvait la sonde. Ce système a parfaitement fonctionné.

La Sarbasonde

Tout aussi originale que l'Aquasonde, la Sarbasonde était un petit projectile lancé vers le haut par un canon à air comprimé, pouvant atteindre jusqu'à 2000 mètres d'altitude et effectuer des mesures de température, d'humidité et de vent au cours de sa descente. La durée du sondage était de 4 à 5 minutes. Ce projet était conduit par Marcel Petit, Gabriel Abadie et Jacky Villain.

En 1978 on essaya un mode propulsion avec un moteur de fusée à poudre, fournissant une accélération moindre que le lanceur pneumatique et, de ce fait, pouvant fonctionner avec une électronique moins coûteuse.

Ceux qui se trouvaient à cette époque à l'observatoire se souviennent qu'il fallait courir se mettre immédiatement à l'abri dans les bâtiments dès que résonnait la sirène avertissant d'un tir de Sarbasonde !

La Dropsonde

Cette sonde a été développée par Marcel Petit, Jean-Pierre Maréchal, Gabriel Abadie et René Loiseaux. Elle est éjectée à partir d'un avion ou d'un hélicoptère. Quand il est pressurisé, l'aéronef doit être équipé d'un sas pour les altitudes élevées. La Dropsonde mesure les paramètres suivants :

- pression par un capteur barométrique,
- température par une sonde thermorésistante à fil à réponse rapide,
- humidité par sonde à couche capacitive,
- composantes horizontales du vent à l'aide des signaux du système de radionavigation Omega.

La Dropsonde est freinée par un ralentisseur, et sa vitesse de chute est de 7,5 m/s. Les paramètres sont transmis au sol où les profils des quantités mesurées sont calculés en temps réel. La transmission des données se fait par satellite.

Les Capteurs

Au cours de la période 1976-1982, les travaux des laboratoires sur les capteurs décrits plus haut se poursuivent et s'intensifient. C'est le cas pour les capteurs servant à mesurer la pression, l'humidité, le vent et la température. L'utilisation des composants à couches minces, y compris pour la mesure des polluants, est également évaluée. Une organisation conséquente a dû être mise en place pour vérifier l'étalonnage des différents capteurs, dont s'occupait Michel Beaurepaire au sein de l'équipe de M. Petit.

Les stations automatiques

Miniclim (photo 23) est une station mobile de mesure météo portative, permettant l'acquisition de trois paramètres : température, humidité et vitesse du vent. Jean Wagner est chargé du projet en réunissant les compétences nécessaires à sa conception, à la mise au point et à la réalisation des capteurs, avec un boîtier compact et utilisable en toutes conditions. Miniclim est industrialisé dans le cadre d'un contrat avec JAZ-Industrie qui réalise une pré-série en 1979. Par ailleurs, l'équipe 4M conçoit et fabrique ses propres stations automatiques à base de microprocesseurs Intel. Deux agents contractuels formés à la micro-informatique sur les tous nouveaux microprocesseurs Intel 4004 à 4 bits, Alain Lelièvre et Jean-Luc Sanson, ont la charge de ce laboratoire, équipé de tous les matériels de développement et de test très onéreux nécessaires à cette activité. Les moyens de conception et de test évolueront ensuite avec les nouveaux microprocesseurs, comme le 8080 et le 8086. Des développements importants de stations automatiques étaient également effectués au CTM à Trappes, à la même époque, ce qui a entretenu à une saine émulation entre les deux équipes.

Photo 23 : La station mobile Miniclim, en 1980 (Photo T. Leroy)

La télédetection

Les développements dans le domaine de la télédétection à partir du sol sont conduits le plus souvent en collaboration avec le CNRS et le CRPE (Centre de recherches en physique de l'environnement terrestre et planétaire), un laboratoire dépendant du Centre national d'étude des télécommunications, le CNET.

Le sodar

Le SODAR (*Sound detection and ranging*), avec l'appareil SONATE A, permet de déterminer l'alti-

tude de la couche d'inversion, qui joue un rôle important dans les situations de pollution. La version Sonate B, développée ensuite, utilise en outre l'effet Doppler pour fournir le profil vertical de vent. Andrée Estival-Le Trocquer et Patrick Van Gründerbeck sont les principaux responsables de ces appareils, développés en lien avec le CRPE.

Le lidar

Avec le LIDAR (*Light detection and ranging)*, le projet DIRAM, conduit par Jean-Louis Gaumet, s'efforce de déterminer par laser la visibilité oblique pour les besoins de l'aéronautique. Par ailleurs des essais de mesure de profils d'humidité utilisant l'effet Raman et l'absorption différentielle sont menés par Didier Renaut, avec Christiane Brun, Philippe Salomon et Marcel Cailleau. Ce projet dénommé Lyre, conduit en coopération avec Robert Capitini du CEA et Gérard Mégie du Laboratoire d'Aéronomie du CNRS, s'est déroulé de septembre 1975 à 1988. Les études de faisabilité et de mise au point instrumentale furent d'abord conduites dans le but de mesurer des profils atmosphériques de vapeur d'eau et de température ; ces études furent qualifiées en ce qui concerne la vapeur d'eau par des comparaisons avec des radiosondages effectués à Magny. Les mesures par lidar Raman furent ensuite étendues à d'autres constituants mineurs, l'ozone et le dioxyde de soufre. Un Lidar DIAL (*DIfferential Absorption Lidar*) (photo 24) fut également développé pour la mesure de ces deux derniers constituants. L'équipe Lidar participa à la campagne de mesure Fos/Berre de 1983, en mesurant des polluants et en réalisant la cartographie des aérosols par Lidar en diffusion de Mie. Cette activité donna lieu à plusieurs publications dans des revues à comité de lecture et dans des colloques internationaux. Cependant à cette époque les lasers n'étaient pas encore suffisamment puissants et robustes pour entreprendre un développement industriel, et l'EERM abandonna cette activité, qui fut poursuivie par le Laboratoire d'aéronomie.

Photo 24 : Lidar DIAL à Magny-les-Hameaux en 1980

Le projet Hydromel, dont la Météorologie nationale est maître d'œuvre et qui est supervisé par le Conseil supérieur de la météorologie, démarre en 1975 sous la conduite de Guy Froment. Son objectif est d'évaluer le potentiel du radar pour l'évaluation des précipitations.

Les données radar proviennent du radar de longueur d'onde 10,7 cm Melodi de Dammartin-en-Goële, provisoirement équipé d'une chaîne de numérisation prêtée par le Cnet. Le rapport final du projet (Froment, 1979) conclut à la faisabilité de la mesure des précipitations par radar, mais sans en occulter les difficultés. Ces années-là, les comparaisons entre les données radar et les données de pluviographes sur le terrain étaient en effet très laborieuses, puisqu'il était nécessaire d'aller chercher sur place et de numériser manuellement les diagrammes enregistrés sur papier par des pluviographes dispersés sur de vastes superficies. De multiples autres difficultés s'ajoutaient à cela, en matière de connaissance des échos de sol, des paramètres d'environnement, de programmation, etc. À cette époque, la Météorologie nationale a donc estimé prématuré de s'engager dans le domaine de la mesure par radar des précipitations et l'hydrologie, pour s'investir davantage dans la détection et la cartographie en temps réel.

D'autres initiatives concurrentes sont donc apparues très rapidement pour exploiter le potentiel des radars en hydrologie. Le Service Hydrologique Centralisateur (SHC) de Périgueux avait déjà acquis auprès de la société anglaise Plessey un radar en bande C (de longueur d'onde 5 cm).

Ce radar était installé sur un site très isolé à Grèzes, à la limite entre les départements de la Dordogne et de la Corrèze, pour surveiller notamment le bassin de la Dordogne qui avait subi des inondations dévastatrices allant jusqu'à Périgueux. Les données de ce radar n'étaient pas numérisées et son fonctionnement n'était pas automatisé.

Il était donc exploité par deux techniciens installés sur place, qui avertissaient le SHC quand ils estimaient que les précipitations pouvaient susciter des inquiétudes.

À la même époque, le SHC de la Garonne projetait d'installer 5 à 6 radars sur un axe nord/sud à l'ouest de Toulouse afin d'améliorer le système d'annonce des crues dans la région.

Les universitaires commençaient aussi à s'intéresser au sujet, notamment Charles Obled et ses étudiants Hervé Andrieu, Jean-Denis Creutin et Guy Delrieu, qui faisaient la tournée des stations météo pour rassembler des pluviogrammes.

Un peu plus tard commençait l'expérience avec le radar Rodin de Trappes sur les départements du Val de Marne et de la Seine Saint Denis, qui montra que le radar associé à un réseau dense de pluviographes donnait une précision suffisante pour une gestion automatisée de réseau d'assainissement. La DDE de Seine Saint-Denis, sous l'impulsion d'André Bachoc, et la société Rhea, une « start-up » dirigée par Guy Jacquet, ont ensuite utilisé les informations des radars du réseau Aramis de manière opérationnelle pour mieux gérer les réseaux d'assainissement du département et de celui du Val de Marne, et ensuite d'autres collectivités. Cette collaboration avec Rhea, dont les termes avaient été négociés du côté de la DMN par Marc Gillet et Charles Dupuy, permit de faire profiter de nombreux utilisateurs d'un système moderne d'annonce des crues, que la DMN n'avait pas les moyens de développer en interne.

Au milieu de cette effervescence en matière d'hydrologie radar, qui menaçait d'aboutir à une situation anarchique où chaque communauté urbaine ou région se doterait de ses propres radars, la Météorologie nationale parvint cependant, avec le soutien du Ministère de l'environnement, à conserver la maîtrise du réseau de radars météorologiques. Les accords avec ce ministère, favorisés par Jean Lepas et Jean Labrousse, et avec la bénédiction de Michel Mousel alors directeur de l'Eau et de la Prévention des Pollutions et des Risques, incluaient la numérisation du radar de Grèzes avec une chaîne Saphyr et la reprise de son exploitation par la DMN. Cependant, sans doute faute de moyens, la Météorologie nationale ne s'engagea que très lentement à cette époque dans le domaine de l'évaluation précise des précipitations par radar, laissant ainsi le champ libre aux initiatives universitaires et privées.

Le radar et le début du projet Aramis

En matière de RADAR (*Radio detection and ranging*) plusieurs projets sont menés de front, après une longue période d'inactivité de l'EERM dans ce domaine, consécutive à la démission de Roger Lhermitte et à son départ aux Etats Unis en 1960.

L'équipe radar de Magny-les-Hameaux, conduite par Marc Gillet et à laquelle s'était joint Claude Gaillard, coopérait depuis 1975 avec le Cnet sur l'analyse des données du système à deux radars Doppler en bande C (5,6 cm) Ronsard. Un logiciel de représentation des champs de vent fut développé avec les contributions de Jean Tardieu et Vladislav Klaus sur l'ordinateur central de la Direction de la Météorologie. Ces radars seront l'outil central de plusieurs campagnes de mesures organisées en coopération entre le CRPE, l'équipe 4M de l'observatoire, le Lamp (Laboratoire Associé de Météorologie Physique de Guy Soulage situé à Clermont-Ferrand, qui effectue des mesures dans les nuages avec le DC7 du CEV), et avec l'IOPG.

Une première campagne de mesures sur les fronts se tient en juin 1976. Le premier radar Ronsard à être livré est posté sur le toit de l'observatoire de Magny-les-Hameaux (photo 25). Des moyens importants sont déployés, avec le Lamp, l'Inag (Institut national d'astronomie et de géophysique) qui envoie un avion Aerocommander et l'IOPG, avec notamment un radar millimétrique (voir Gillet, 1978). Mais 1976 est une année de canicule et de sécheresse, et aucune précipitation n'est observée. Au plus nous a-t-on relaté l'exploit accompli par l'un des plus hauts responsables de l'EERM lors de cet épisode de grande sécheresse. Avec un avion prêté par la compagnie Fenwick de Pierre Closterman, une petite équipe part par un beau matin, après avoir embarqué des dizaines de kilos de gros sel (entreposés dans les toilettes de l'immeuble de la Direction à Boulogne-Billancourt), pour ensemencer un banc … d'altocumulus prétendus se trouver sur Saint Malo. Renseignements pris, l'avion était dans la zone de Nantes. Il paraît qu'il y a eu quelques gouttes d'eau ce jour-là.

Lors de la campagne Fronts 77, conduite au mois d'octobre, les deux radars Ronsard sont prêts. Le second est installé à Ablis, à 30 km de Magny-les-Hameaux, à l'endroit où se trouve aujourd'hui le péage de l'autoroute A10. Jean-Pierre Chalon, de retour d'un séjour aux Etats-Unis, vient alors d'intégrer les équipes de l'EERM. Des observations intéressantes ont pu être réalisées au cours de cette expérience (voir Gillet, 1978 ; Chalon et al., 1980).

Le traitement des données des radars Ronsard se faisait pour partie à Magny-les-Hameaux, sur un ordinateur HP2100, et, pour partie, au Ceti (Centre de traitement de l'information) de la DMN à Paris-Alma, sur un ordinateur CDC (Control data corporation). Les bandes magnétiques produites par les Ronsard contenaient des séries de données correspondant à la puissance reçue, la vitesse Doppler et la largeur du spectre pour 32 portes en distance. Il fallait s'assurer d'abord de la qualité des données sur l'ordinateur HP2100 de l'observatoire. Les bandes magnétiques étaient ensuite transportées en voiture à Paris au Ceti, où étaient calculés les champs de vent à partir des données des deux radars. L'équipe a heureusement pu se reposer sur la compétence de Jean Tardieu pour décoder les bandes magnétiques et visualiser les données, et de Vladislas Klaus pour le calcul des vitesses verticales. Il est inutile de souligner que ces mouvements de bandes magnétiques en entrée et en sortie du centre de calcul de la DMN n'étaient pas du goût des responsables informatiques, mais ils les tolérèrent malgré tout !

Une nouvelle campagne sur les fronts se tient en 1979, dans les Landes, avec encore une forte participation des équipes de l'EERM. Pour cette expérience, la première chaîne d'acquisition de données radar Saphyr à peine terminée est installée sur le radar Melodi de Bordeaux Mérignac. Elle ira ensuite sur le radar de Dammartin-en-Goële.

La même année, une précampagne d'évaluation du site et des conditions atmosphériques s'est déroulée à Korhogo dans le nord de la Côte d'Ivoire avec le radar Ramo (photo 26) mis à disposition par le CTM, avec la participation de personnels de l'observatoire et du CTM.

En 1981, les équipes de Magny-les-Hameaux conduites par Jean-Pierre Chalon participent à l'expérience d'observation de la COnvection Profonde Tropicale COPT81, en collaboration avec le CNRS et le CNET. Les radars Ronsard et l'ensemble 4M sont déplacés à cette occasion dans le voisinage de la ville de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire,

Photo 25 : Aérien du premier radar Ronsard installé sur le toit de l'observatoire, en 1978. Le shelter, où sont assurés le contrôle du radar et le traitement des données, est installé dans la cour de l'observatoire (Photo C. Niclot)

En 1978, Marc Gillet et Claude Gaillard participent avec les radars Ronsard à l'expérience Grossversuch, dans la région de Lucerne. Les moyens 4M sont également mobilisés ainsi que l'équipe de statisticiens de l'EERM conduite par Guy Dermegreditchian. Cette expérience montée par une équipe de l'Université de Zurich avait pour objectif de tester la méthode soviétique de suppression de la grêle à l'aide de fusées lancées depuis le sol et dispersant de l'iodure de plomb ou d'argent dans les nuages considérés comme porteurs de grêle. Ces orages sont supposés avoir des caractéristiques compatibles avec la méthode utilisée en URSS. Le personnel suisse a été formé aux méthodes russes sur la lutte contre la grêle et utilise les fusées "Oblakoff" pour l'ensemencement, dans les conditions prescrites par les soviétiques. Un réseau de grêlimètres français et italien (330 repartis sur 1300 km²), un radar 10 cm, le radiosondage de Payerne, un réseau de pluviographes et des distromètres complètent le dispositif d'observation.

Après 5 ans d'expériences, l'échantillon total rassemblé par Grossversuch comprend 216 cellules convectives, ce qui est faible et induit des intervalles de confiance très larges. 76 jours de suppression possible de la grêle ont été observés : 33 ont fait l'objet d'un ensemencement par fusée et 43 n'ont pas donné lieu à un ensemencement. L'expérience conclut que les ensemencements provoqueraient entre 30 % de réduction et 159 % d'augmentation de l'énergie cinétique des grêlons. Pour les grêlimètres, l'intervalle de confiance est de 90 %. Pour comprendre les résultats statistiques obtenus par G. Der Megreditchian des mesures supplémentaires ont été réalisées en 1982 et 1983 à l'aide d'un avion T28 blindé de l'Université du Wyoming pour rechercher les grosses gouttes d'eau surfondue dans les cellules convectives susceptibles de se transformer en grêlons. Après plusieurs années d'études, les taux très élevés de réussite annoncés par les soviétiques n'ont pas été confirmés par l'expérience Grossversuch. Dans le cadre de la coopération franco-soviétique, Jean-Pierre Chalon et Michel Rochas ont fait part de ces résultats aux scientifiques soviétiques et de leurs doutes concernant la méthode d'évaluation de leurs résultats. Après quelques réticences, ces derniers en prennent note et dès lors ramènent leur taux de réussite annoncé de 90 à 30 %.

Photo 26 : Le radar Ramo sur la route entre Abidjan et Korhogo en avril 1979 (Photo M. Gillet)

Photo 27 : La chaîne de numérisation et d'acquisition de données radar Saphyr, développée en collaboration avec le CTM en 1979 (Photo Météo-France)

que la mousson africaine atteint aux environs des mois d'avril-mai. Cette campagne était une première dans l'étude dynamique des systèmes tropicaux. Elle a été particulièrement riche d'enseignements sur la nature et la structure des lignes de grains qui fournissent la majeure partie des précipitations dans les régions intertropicales avant de poursuivre leur route, à travers l'océan Atlantique, sous forme de cyclones tropicaux.

En collaboration avec Jean Oliviéri du Centre Technique et du Matériel (CTM), et grâce à la bienveillance d'Henri Treussart alors chef adjoint du CTM, et de René Aureau, chef de l'équipe radar du CTM, l'équipe radar de Magny-les-Hameaux a développé la chaîne Saphyr, en vue de numériser et d'enregistrer les informations des radars en bande S (10,7 cm) Melodi du réseau de la Météorologie nationale. Outre J. Oliviéri, ont principalement participé à la réalisation de cette chaîne : M. Gillet, C. Gaillard et J. Tardieu. Les prolongements de cette réalisation donneront lieu très rapidement au réseau radar Aramis (Gillet, 2016).

La chaîne Saphyr (photo 27) équipera les trois radars Melodi du réseau (Dammartin en-Goële, Bordeaux, Brest) ainsi que le radar Plessey de Grèzes. L'équipement installé dans le radar assure les fonctions suivantes : commande de l'antenne, numérisation du signal vidéo (puissance du signal reçu par le

Radar), fabrication d'une image digitale des échos, représentation sur un moniteur couleur, enregistrement des données sur bande magnétique. L'image obtenue est transmise automatiquement toutes les 15 minutes par une ligne téléphonique spécialisée PTT d'une capacité de 2400 b/s. Les unités de réception affichent l'image digitale reçue sur un téléviseur couleur Thomson grand public de petites dimensions. L'image reçue par la ligne PTT a une résolution de 256 points codés sur 16 niveaux, et sa transmission dure une minute.

Dans le cadre du projet RACINE (RAdar CINEmométrique), on développe par ailleurs à Magny-les-Hameaux, et en coopération avec le CTM, un radar Doppler mobile en bande X (3,2 cm) pour l'étude des nuages et des précipitations. Cet instrument pouvait également être utilisé en lien avec les radars Ronsard pour former un système de 3 radars Doppler, fournissant une description plus précise des champs de vent dans les zones de précipitations. Le Racine utilise le véhicule, la plate-forme et l'antenne du radar mobile Ramo de poursuite de ballons de radiosondage auquel on ajoute un émetteur/récepteur Doppler produit par la société LCT (Laboratoire central de télécommunications) qui a fabriqué les radars Ronsard. Un système complet d'acquisition des données est réalisé à Magny-les-Hameaux, permettant d'enregistrer la puissance du signal, des spectres Doppler et des vitesses Doppler calculées en temps réel avec un processeur pulse-pair. Ce processeur a été construit par Robert Peytavi, qui a intégré l'équipe radar en tant que technicien d'exploitation, et s'est très vite familiarisé avec l'instrumentation.

Le radar Racine sera utilisé lors de la campagne Projet d'augmentation des précipitations PAP-81 décrite plus loin. Outre les mesures de réflectivité radar, le Racine apportait à l'expérience la mesure des distributions en taille des hydrométéores et l'estimation du vent horizontal par des méthodes de type VAD (*Velocity Azimuth Display*).

Après le départ de Marc Gillet pour le SETIM en 1985, le projet sera rapidement abandonné et le radar Racine ne sera plus utilisé, la priorité étant donnée à la construction du réseau radar Aramis.

Les véhicules

L'EERM développe à cette époque plusieurs types de "véhicules" destinés à réaliser des mesures *in situ* principalement dans les basses couches de l'atmosphère.

Les sondes aérologiques motorisées SAM

Plusieurs versions de drones télépilotés pouvant embarquer différents instruments de mesure physico-chimiques et les ramener au sol en bon état ont été développées dans le cadre du projet SAM

Photo 28 : Les premiers drones SAM-B à Magny-les-Hameaux en 1977 devant une partie des équipes GMI et 4M

(Sondes Aérologiques Motorisées), sous la direction de Daniel Martin, assisté par Jacques Bondon, Rémi Caillou et Guy Sennequier. L'objectif était d'effectuer facilement et à fréquence élevée des mesures dans la couche limite atmosphérique et de réduire le coût des mesures en récupérant le matériel après chaque sondage.

Le système SAM permettait de réaliser des sondages verticaux, horizontaux ou dans des zones inaccessibles par ballon-sonde ou avion de recherche atmosphérique. Les mesures de pression, température et humidité étaient télétransmises au sol lors du vol et visualisées en temps réel sur un graphique avec une table traçante. Des prélèvements de gaz et d'aérosols dans des bouteilles sous vide, des filtres ou des impacteurs pouvaient également être effectués et analysés ultérieurement en laboratoire.

Les principaux vecteurs utilisés ont été :
SAM-B (photo 28) : cet "objet volant" à voilure circulaire de 1,10 m de diamètre a souvent été utilisé en raison de sa rusticité et de son faible coût. Il a permis d'effectuer de nombreux sondages aérologiques, notamment lors de championnats de vol à voile et de la campagne d'étude des nuages chauds en Guadeloupe en 1981.
SAM-C : motoplaneur de 3,15 m d'envergure, aérodynamiquement très performant (charge utile de 2 kg) et autostable (pilotage aisé, même à grande distance). Sa conception modulaire a permis d'embarquer différents types d'instruments de mesure physico-chimique et de participer à plusieurs campagnes scientifiques.
SAM-G : même voilure et partie-avant que SAM-C, mais l'empennage en "V inversé" était supporté par deux poutres fixées sous les ailes et donc moins exposé aux chocs à l'atterrissage. Le moteur était monté juste derrière la voilure afin de ne pas perturber les mesures. Ce SAM-G s'est révélé aussi polyvalent que le SAM-C mais beaucoup plus commode d'emploi. Il a été utilisé avec succès lors des deux campagnes IAGO en Antarctique et enfin lors de la campagne HAO en 1987 en Polynésie française.

Dinosaure

A. Villevieille avait participé à des essais d'utilisation de ballons captifs comme plate-formes d'observation et de mesure à haute altitude, d'abord en Corse jusqu'à 13 000 m d'altitude avec le projet Colombe, puis en 1973 en Guyane, en collaboration avec le Cnes, jusqu'à 17 000 m avec le projet Essor. Dès qu'il est nommé directeur de l'EERM, il décide de développer l'instrumentation aéroportée pour la surveillance de la pollution dans les basses couches, et confie à Marcel Zéphoris le développement d'un dirigeable télépiloté, qui portera le nom de Dinosaure en raison de sa taille (photo 30). Une étude de faisabilité et de dimensionnement est sous-traitée à la société Zodiac (voir Morisset, 1979). Cet industriel pro-

Les campagnes Etna avec SAM-C *(photo 29) en juin 1978 et juin 1980, l'équipe SAM a participé à deux campagnes de mesures physico-chimiques organisées par le volcanologue Haroun Tazieff et son équipe sur le volcan Etna, en Sicile. C'était la première fois que des drones télépilotés étaient utilisés sur un volcan pour un usage scientifique.*

Ont également participé les laboratoires CNRS/CFR de Gif-sur-Yvette, CEA/CENG/LESI/Grenoble et LCM/Paris-VII.

Les objectifs étaient les suivants :
● effectuer des mesures de température, d'humidité ainsi que des prélèvements de gaz et d'aérosols dans le panache volcanique, à une distance de plusieurs centaines de mètres des cratères actifs, où il est alors bien homogénéisé par diffusion turbulente,
● comparer ces prélèvements avec ceux effectués simultanément au sol près des évents éruptifs, ainsi qu'avec les mesures de débit en SO_2 par télédétection,
● participer à la surveillance des éruptions et évaluer la contribution globale du volcanisme à l'atmosphère en vapeur d'eau, gaz divers et aérosols/noyaux de condensation potentiels.

En 1978, après vérification du bon fonctionnement du SAM-C à cette altitude (entre 3000 m et 3500 m) et dans une atmosphère polluée par différents gaz et poussières très corrosifs, 7 sondages ont été possibles les 10 et 11 juin. Des mesures physico-chimiques ont alors été effectuées dans le panache volcanique, peu chargé en cendres durant ces journées. Elles ont ultérieurement permis d'évaluer l'apport en vapeur d'eau à l'atmosphère et un rapport moyen des gaz SO_2/HCl de 7,6 (corrélable avec l'activité volcanique). Elles ont également démontré que, à une distance de quelques centaines de mètres du cratère, aucune différence de température entre le panache et l'atmosphère ambiante n'était décelable.

En 1980, du 7 au 12 juin, 12 vols de SAM-C ont été possibles les jours peu ventés, dont 8 dans le panache volcanique. Des mesures de température et humidité en fonction de l'altitude y ont été effectuées, ainsi que des prélèvements simultanés de gaz (dans des bouteilles sous vide) et d'aérosols (sur filtres et impacteur).

Ces deux campagnes ont démontré que les SAM-C pouvaient, efficacement et à faible coût, contribuer à l'étude du panache volcanique homogénéisé, à partir d'une zone sans grand risque pour les opérateurs. Toutefois, à l'altitude de l'Etna, dont le sommet culmine à 3300 m, le vent souvent fort et la turbulence thermique ont fréquemment gêné ou empêché les vols. Les études effectuées à partir des mesures en vol et près du cratère ont été publiées, notamment dans "La Météorologie" et le "Bulletin Volcanologique".

Photo 29 : Le SAM-C 01 mis en œuvre par Guy Sennequier et Rémi Caillou pour effectuer des prélèvements de gaz et de poussières dans le panache du volcan Etna, en 1978.

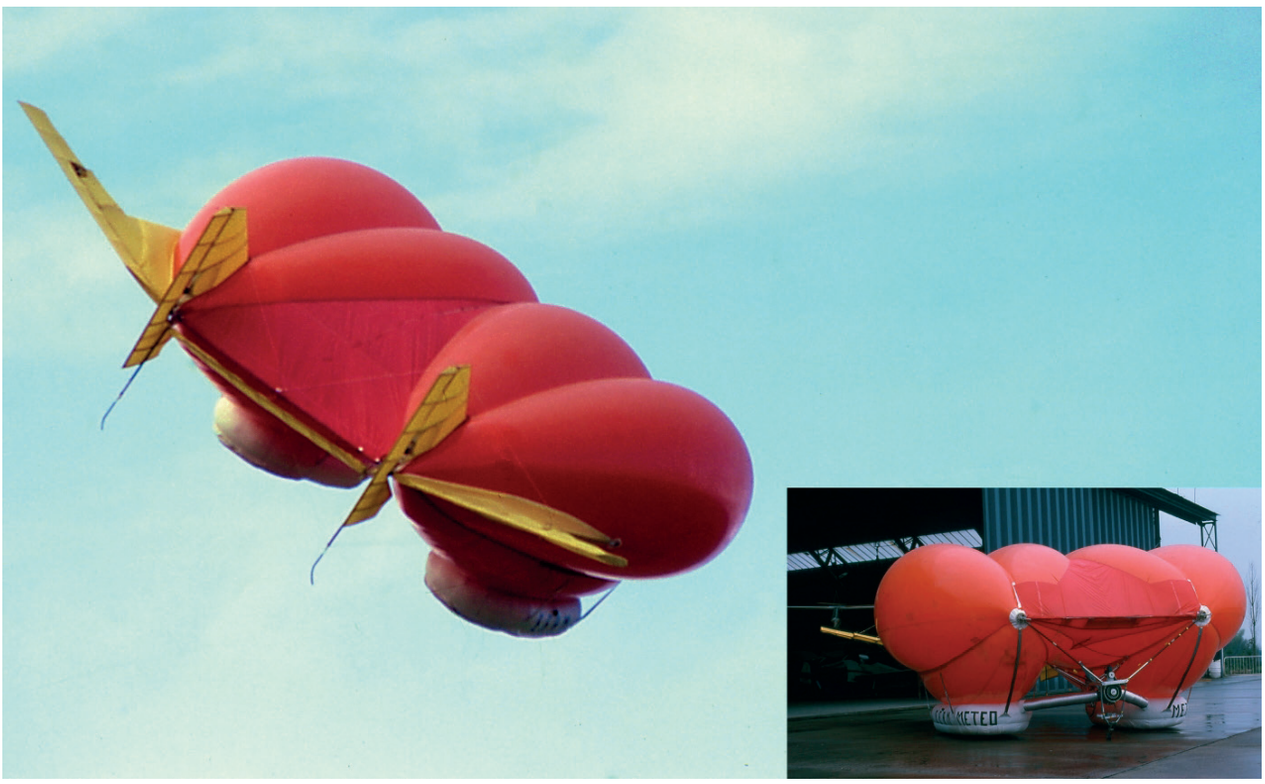


Photo 30 : Le dirigeable Dinosaure, dans sa version DINO 2 de 7,60 m de long, lors d'essais en vol à Brienne le Château en octobre 1979 (Photo en vol G. Sennequier et photo devant le hangar T. Leroy).

pose un ballon de type catamaran de 3350 m^3, de 30 m d'envergure et 26 m de long, propulsé par deux moteurs Lycoming de 150 CV placés en push-pull et capables d'emporter une charge utile de quelques centaines de kilos. Chaque carène, semi-étanche et pressurisée, est réalisée à partir d'une structure originale trilobée en "arête de poisson" qui permet un gain de poids tout en gardant une grande résistance aux efforts très élevés liés à l'incidence de vol. Les caractéristiques aérodynamiques de la carène ont été déterminées en soufflerie par la SNIAS. Des doutes sur la pilotabilité aux basses vitesses conduisent alors à développer une maquette de 47 m^3 et de 7,6 m de long. Cette maquette, nommée DINO 2, est réalisée par Zodiac, en étroite collaboration avec l'équipe de Marcel Zéphoris, appuyée par l'atelier de mécanique de Magny-les-Hameaux.

Une campagne d'essais fut organisée par M. Zéphoris et son équipe sur un aérodrome proche de la région parisienne en 1978/1979. Les 70 vols effectués ont permis de montrer le très bon comportement en vol de Dinosaure dans toutes les configurations possibles, mais le projet fut arrêté en 1981, faute d'utilisateurs potentiels.

Marisondes et Navisonde

L'équipe animée par Marcel Petit, avec Vladislav Klaus, Philippe Nacass, François Fusey, Michel Beaurepaire et P. Blouch, a développé, avec la société Safare Crouzet, et mis en œuvre plusieurs types de bouées dérivantes Marisonde pour les besoins de la PEMG (Première expérience mondiale du GARP.) Ces bouées ont permis de collecter de nombreuses données sur l'océan Atlantique, y compris sur les courants. Une version de Marisonde, nommée Navisonde, était installée sur un petit catamaran et permettait de tracer le vent.

Après la Marisonde A ayant servi de test, c'est la Marisonde B (3 m de long et 0,60 m de diamètre) qui a été la plus utilisée. Plus tard, cette bouée a été équipée d'un mât de 1,50 m en forme de pale pour mesurer la vitesse et la direction du vent, devenant ainsi la Marisonde G (G pour girouette), d'un poids de 120 kg avec une autonomie de 18 mois. La Marisonde RC est une bouée ancrée qui deviendra la bouée Armor II. Elle mesure la pression, les températures de l'air et de la mer, ainsi que la vitesse et la direction du vent. En 1979, lors de la PEMG, 32 bouées dérivantes Marisonde B ont été mouillées dans l'Océan Indien Sud. Par ailleurs, 5 Marisonde B et une Marisonde C ont participé au réseau BRAN (Bouées Réseau en Atlantique Nord) dans la zone 30° W et 50-60° N. Les données de ces bouées sont transmises via le système Argos de satellites à défilement ou les satellites géostationnaires GOES (*Geostationnary Operational Environmental Satellite*) et Météosat. Une bouée laboratoire, dite "bouée Cousteau", a été mouillée par 42°15 N et 05°34 E à 55 km au sud de La Ciotat pour l'étude de la structure du vent et de la houle. Des

mesures de rayonnement par pyranomètre ont également été effectuées en collaboration avec la DRME (*Direction des recherches et moyens d'essais)* et le Cnexo (*Centre National d'Exploitation des Océans*).

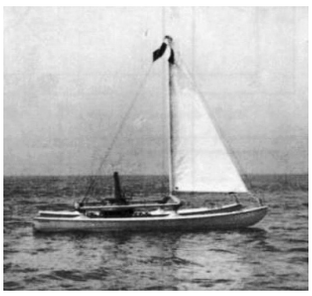


Photo 31 : La Navisonde, en 1978

La bouée Marisonde B dérive au gré des courants marins en surface à une vitesse moyenne de 10 à 20 km/j en Atlantique. Pour doubler au moins sa vitesse, la Navisonde (photo 31) été montée entre les deux coques d'un catamaran muni d'une voile et mise à l'eau au SW des îles du Cap Vert (20°N/31°5 W) le 18/08/1978. Elle a parcouru 4000 km en 96 jours, avant d'atteindre l'arc antillais en novembre 1978 pour s'échouer sur une plage de l'île de Barbuda. Durant son voyage, elle a rencontré la dépression tropicale N°10 qui a dévié sa trajectoire entre le 23 et 25 septembre 1978. Equipée d'une batterie lui assurant une autonomie d'un an, elle a transmis régulièrement, par satellite, les données de pression, de température de l'air et de la mer en surface. Le suivi et la récupération des bouées donna parfois lieu à des manœuvres hasardeuses, comme ce fut le cas à l'occasion de cet épisode que nous conte ci-après Philippe Garnier.

« Poussée par les vents et les courants, une bouée dérivante Navisonde effectuant des observations météo était allée s'échouer sur une plage de Barbuda, une île de l'archipel Antigua et Barbuda située sur l'arc Antillais et appartenant à l'époque à la couronne britannique. Antigua et Barbuda est aujourd'hui indépendant, mais reste membre du Commonwealth.

Il fallait, coûte que coûte, récupérer la Navisonde. Or le droit maritime est formel : elle est juridiquement devenue bien de la couronne britannique. Ordre est donné à Philippe Garnier de joindre au téléphone un certain Captain Joe à Barbuda. Philippe a bien des difficultés à le joindre car il faut passer par le standard d'Halifax au Canada. Lorsque qu'il finit par obtenir le Captain Joe au téléphone, il s'aperçoit que ce digne représentant de la couronne semble se trouver sous l'effet d'une sérieuse charge alcoolique. Il arrive à peine à comprendre ce qu'on lui demande, à savoir : comment peut-on récupérer la Navisonde, moyennant éventuellement finance et sans aucune publicité ? Captain Joe n'a pas encore découvert l'objet.

Plus tard, Philippe apprend que des gamins de l'île sont tombés sur le joujou. Le CMS de Lannion, qui suit la position de la bouée grâce au système Argos, connaît son positionnement exact, car celle-ci continue à émettre. Mais comment éviter un incident diplomatique avec les britanniques ? Les décideurs décident alors d'agir. Philippe sait que René Roumiguières, le pilote en chef de l'EERM, se trouve alors en vacances en Guadeloupe ; il réussit à le joindre et à lui expliquer le problème.

Par chance, un membre de sa famille connaît très bien l'île de Barbuda. Une expédition est donc décidée en haut lieu, qui sera exécutée par René. L'EERM paiera les frais d'essence et éventuellement une petite compensation à Captain Joe. Vers 20 heures (heure de Paris), René réussit à joindre les bureaux de l'EERM à Boulogne, alors que ceux-ci sont en conversation téléphonique avec Lannion et Magny-les-Hameaux. Nos aviateurs ont bien atterri sur une des pistes de Barbuda proche de la plage. Captain Joe cuvait encore son rhum,et dixit René, nos deux pirates n'ont eu qu'à administrer quelques coups de pied aux fesses des gamins présents pour récupérer le butin. La Navisonde est démontée en partie, embarquée fissa dans l'avion et c'est de la Guadeloupe que René appelle pour annoncer le succès du raid sur Barbuda.

Fort heureusement, cet acte caractérisé de piraterie n'est jamais parvenu à la connaissance de sa Gracieuse Majesté. »

Toujours dans le domaine des bouées, un développement très ambitieux fut impulsé par A. Villevieille avec le projet Léviathan. Il s'agissait d'une grosse bouée avec ancrage dynamique et fonctionnant à l'énergie éolienne, permettant de réaliser des radiosondages automatiques à l'aide de ballons ou de fusées. L'objectif était de suppléer à la disparition des NMS (*Navires Météorologiques Stationnaires*) qui assuraient en permanence une observation météo et des radiosondages en quelques points de l'Atlantique nord et dont les services météorologiques ne pouvaient plus assurer les coûts. Le projet fut arrêté après le départ de A. Villevieille de la direction de l'EERM.

La surveillance de la stratosphère

La surveillance de la stratosphère en opérationnel devint nécessaire à la suite de la signature à Paris, le 5 mai 1976, de l'accord tripartite France/Etats-Unis/Grande Bretagne qui permettait les vols supersoniques du Concorde vers les aéroports américains à partir de Paris et de Londres. Les aéroports de l'ouest américain comme San Francisco et Los Angeles ne pouvaient être joints qu'en vols subsoniques, sur le territoire américain, ce qui faisait perdre tout intérêt commercial. Voilà pourquoi le Concorde français n'a desservi que New York et Washington DC et plus rarement Miami. En échange, la France a réactivé ses sondages d'ozone, à raison d'un par semaine, le mercredi. Elle a effectué des mesures avec des spectrophotomètres Dobson à Biscarrosse et dans les TAAF (Terres australes et antarctiques françaises), et s'est engagée à faire quelques vols circumpolaires Pôle-Nord/Pôle-Sud avec la Caravelle immatriculée F-ZACE du CEV (Centre d'essais en vol) pour des mesures des composants minoritaires de la stratosphère. Ce sont les 3 vols du programme Stratoz auxquels Fernand Karcher a participé, sur la même Caravelle. Guy Froment avait la charge de ce programme à Magny et Philippe Garnier au siège de l'EERM à Boulogne transmettait les données au centre spécialisé de Toronto, avec une copie à l'OMM.

Le programme Stratoz, avec la Caravelle du CEV, comme le renforcement des mesures de l'ozone stratosphérique par sondages et mesures par spectrophotométrie au CEL-Biscarrosse, est une suite de cet accord. Il a été conduit principalement par B. Loitière et F. Karcher, avec la participation de Marielle Amodei, Jean-Paul Meyer et Claude Besson.

Chaque campagne Stratoz consiste en une vingtaine de vols suivant le méridien 60° ouest, avec une extension maximale en latitude (70° N/60° S). À bord, le spectromètre à grille de l'Onera permet de mesurer les quantités intégrées sur la verticale de constituants présentant une absorption dans l'infra-rouge (4 à 12 µm) : O_3, NO, NO_2, CH_4, N_2O, CO_2, HNO_3, HF, HCl. Ces mesures sont faites par absorption de la lumière solaire au limbe (visées du soleil au lever et au coucher). L'instrument, déjà mis en œuvre sur un Convair de la NASA lors de la mission Latitude Survey 1976, a été utilisé au cours des 3 missions Stratoz, ainsi qu'à bord de la navette spatiale américaine en mars 1992 (mission Atlas 1). Pour Stratoz I, on a fait voler, en plus, un radiomètre à modulation sélective fonctionnant dans le visible pour la mesure des colonnes de NO_2 (Onera), ainsi qu'un radiomètre infra-rouge de l'IASB (*Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique*) pour la mesure de HNO_3. L'utilisation de ces instruments n'a pas été reconduite. Lors de Stratoz II, des échantillons de gaz à longue durée de vie (CH_4, CO, CO_2, N_2O, hydrocarbures et chlorofluorocarbones) ont été prélevés pour analyse ultérieure au laboratoire. Au cours de Stratoz III, les mesures *in situ* ont été complétées par des mesures d'oxyde d'azote (NO, NO_x) qui ont permis de valider des instruments capables de faire des mesures de routine sur avions commerciaux en vue des futurs projets Mozaic (*Laboratoire d'Aérologie du CNRS et Météo-France*) et Iagos (Infrastructure de Recherche Européenne).

Les sondages par fusée

La mise au point des missiles de la force de dissuasion nucléaire exigeait une connaissance de plus en plus fine des profils de température et d'humidité en altitude. Ces mesures étaient réalisées au camp militaire de la DGA (DMA/Direction des moyens d'essais de missiles à l'époque) à Biscarrosse, avec des fusées de type Arcas achetées aux Etats Unis, capables d'atteindre une altitude de 52 km, et remplacées ensuite par la seconde génération de Super-Arcas. Ces activités ont ensuite été étendues à Kourou (CNES, Guyane) dans le cadre du développement des lanceurs de satellites. Ces fusées étaient équipées de capteurs appropriés de mesure de la température et/ou de la vapeur d'eau atmosphérique développés par les équipes de l'observatoire, notamment Jacky Villain, Didier Perret et Gabriel Abadie.

Pour les sondages en altitude, l'EERM utilise, dès 1970, la fusée Hotchkiss-Brandt "Belisama", capable d'emporter 8 kg de charge utile à 100 km d'altitude, puis la fusée américaine Super-Arcas, plus performante que l'Arcas (100 km d'altitude), dont le tube de lancement peut être rapidement réutilisé. Ces fusées effectuent des mesures du vent horizontal et de la température jusqu'à 80 km. À cette altitude, la fusée-sonde éjecte un ensemble contenant les capteurs de télémesure, qui redescend sous un parachute de 4,30 m de diamètre et d'un poids de 1 kg. La trajectoire du parachute suivie

Photo 32 : L'équipe de rugby du CERAM, renforcée par quelques éléments de l'EERM Paris, qui s'apprête à affronter l'équipe du CTM de Trappes dans une rencontre amicale (Photo C. Niclot)

par radar permet de calculer le vent horizontal vrai. Le capteur de température, d'une très faible capacité calorifique, a été mis au point à Magny pour une utilisation en haute altitude. Un second capteur thermorésistant constitué d'une couche de nickel déposée sur un support plastique garantit des mesures jusqu'à 60 km. La télémesure et les bancs d'étalonnage ont aussi été réalisés à Magny-les-Hameaux.

L'EERM a effectué des campagnes au Centre d'essais des Landes (CEL) de Biscarrosse (1974/1975) et a participé à des campagnes internationales de mesures par fusées à Wallops Island (USA), Kourou (Guyane mars 73-mars 74) et au programme EXAMETNET (*Experimental Inter-American Meteorological Rocket Network*) pour l'exploration de la stratosphère avec des fusées-sondes. B. Loitière participait aux comités exécutif et scientifique.

Essais divers

Une autre expérience réalisée en lien avec la Direction générale de l'armement est restée peu connue, mais a fait beaucoup rire les personnels de l'observatoire. Il s'agissait de développer un appareil produisant des bulles de savon, qui pouvaient ensuite être suivies par radar pour déterminer précisément la répartition du vent à basse altitude. José Bonnet participa à cette expérience, et rechercha divers moyens d'augmenter la durée de vie des bulles et de les colorer. À la même époque se tenait, au Vel d'Hiv de la Porte de Versailles, le spectacle de patinage artistique Holiday on Ice, qui avait aussi recours à des émissions de bulles de savon. Les scientifiques de Magny-les-Hameaux essayèrent de reproduire la formule. Un essai de coloration des bulles à l'éosine fut également tenté, mais très rapidement stoppé à cause des taches indélébiles que ce produit laissait sur les murs alentour.

À la demande de la direction, des essais furent aussi conduits par Arlette Rigaud à Boves, dans la Somme, en vue de réduire l'évaporation à la surface d'un étang, en y déversant un liquide tensioactif (hydrocarbure ou alcool). L'objectif affiché était double : diminuer l'évaporation pour mieux conserver l'eau en cas de sécheresse, et réduire les brouillards causés par l'évaporation (voir Rigaud, 1979). Ces essais n'ont pas eu de lendemain, sans doute en raison de leurs effets négatifs sur l'écosystème local...

L'observatoire et principalement l'équipe de l'atelier participèrent également au projet Ventose, conduit par Béatrice Formey de Saint Louvent, normalienne et agrégée de Physique, en vue de développer une éolienne nommée Aeolia. Des essais furent réalisés dans une soufflerie de Meudon et un prototype installé au CMS de Lannion. Les objectifs de ce programme Ventose/Aeolia étaient de :

- réaliser une climatologie du potentiel éolien en France : cartographie représentant la distribution dans l'espace et dans temps du vecteur vent et de sa transformation en énergie éolienne, en utilisant les données classiques et les modèles de météorologie dynamique,
- étudier la réponse des diverses turbines à vent à la structure fine et turbulente du vent (profil vertical, rafales ...)

Une turbine de référence Aeolia 1 à axe vertical de type Darrieus fut construite, suivie d'un prototype d'éolienne de 3 m de diamètre Aeolia 2. Le modèle Aeolia 2 à axe vertical avait des pales profilées stratifiées. Les essais ont été concluants en soufflerie. Aeolia 3, avec un diamètre de 10 mètres, fut essayée au Centre National des capteurs éoliens à Lannion.

Les activités d'enseignement

Les expériences et les connaissances acquises lors des activités du Centre étaient largement diffusées sous forme de notes techniques, de publications et d'interventions dans les écoles et universités. C'est ainsi que Jean-Pierre Chalon enseignait la Physique des nuages, des orages et des précipitations à l'Ecole Nationale de la Météorologie, au Diplôme d'études approfondies (DEA) de l'Université de Clermont-Ferrand et à l'Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherche, à Oran, en Algérie.

Les activités conviviales

Les recherches scientifiques et techniques du centre n'excluaient pas les activités conviviales comme l'organisation de fêtes de Noël pour les enfants, de méchouis (photo 33) ou de rencontres sportives (photo 32) qui opposaient régulièrement les personnels du centre à ceux du CTM situé à Trappes.

Photo 33 : Méchoui organisé par l'Association des usagers du restaurant de l'observatoire météorologique de Magny-les-Hameaux, vers 1982. Le système de tournebroche a été conçu et réalisé par l'atelier de mécanique de l'observatoire. L'excellent punch antillais servi en apéritif était préparé par Arlette Rigaud et Christiane Brun (Photo M. Niclot)

Au-delà de la restauration, qui employait à la cuisine trois émigrées italiennes, Mme Balzano, Mme Doreani et Mme Frontini, l'association des usagers de la cantine (AUCMH) s'occupait de l'animation du site, comme la fête de milieu d'année autour d'un méchoui ou d'un barbecue. Mais le point d'orgue était l'organisation de la fête de Noël (photo 34). À cette occasion, les familles étaient invitées un samedi de janvier sur le site, ce qui permettait aux enfants de se retrouver d'une année sur l'autre et même de retrouver leurs cachettes ! Après l'arrivée du Père Noël avec sa hotte chargée de cadeaux, l'équipe théâtrale de Trappes venait présenter la pièce concoctée par François Videau, jouée une seconde fois. C'était un spectacle de première qualité, dont la préparation par l'équipe de comédiens de Trappes devait commencer au moins 6 mois à l'avance. Ce moment était fort attendu et très apprécié par tous les participants. Pour financer l'organisation de cette fête, un franc était prélevé tout au long de l'année sur le coût de chaque repas servi à la cantine.

À la dissolution de l'AUCMH, au moment de la fermeture du Centre, le capital restant permit de réaliser un immense barbecue regroupant ceux qui étaient encore en région parisienne.

Photo 34 : La fête de Noël en 1976 (Photo C. Niclot)

Le Centre de Recherches en Physique de l'Atmosphère (CRPA)

Jean Labrousse est nommé directeur de la Météorologie nationale au 1er janvier 1982, succédant à Roger Mittner, que certains appelaient Herr Mittner, pour R. Mittner. Le déménagement des équipes de recherche vers les nouveaux locaux Toulousains, dont la première pierre a été posée par le Premier ministre Raymond Barre le 27 août 1977, est confirmé et se traduit à l'automne par le départ des deux tiers des personnels de Magny-les-Hameaux. Au début de l'année 1982, l'effectif de l'observatoire dépassait les 100 personnes. Après les départs pour le Centre national de recherches météorologiques (CNRM) nouvellement créé à Toulouse, l'effectif se réduisit aux 38 personnes qui n'avaient pas accepté de partir à Toulouse. Claude Pastre sera nommé directeur de l'EERM, Jean-Claude André chef du CNRM et Marc Gillet responsable de l'observatoire, qui prendra par la même occasion le titre de Centre de recherches en physique de l'atmosphère (CRPA). Les activités se recentrent alors sur la physique de l'atmosphère, essentiellement la physico-chimie, les pluies acides, les transports de pollution à longue distance, la physique des nuages, la conception de nouveaux capteurs météorologiques. Le CRPA fut également le moteur de la mise en œuvre du réseau radar Aramis de la Météorologie nationale, et assura la conception et la mise au point du système Météotel de surveillance et de détection des précipitations et de diffusion d'informations météo par l'image.

Administration, affaires générales et informatique au CRPA

Dans la nouvelle organisation, Philippe Garnier prend en main l'administration et la gestion du centre et s'emploie à ce que le CRPA possède un centre de calcul permettant aux chercheurs de passer à l'informatique classique et performante. En effet, Magny n'a jamais été équipé d'un véritable centre de calcul accessible à tout le monde, les mini-calculateurs étant alors du domaine du programme 4M, sous la responsabilité d'Albert Schaeffer qui en surveillait férocement l'accès ; ce dernier programme avait rejoint le CNRM à Toulouse.

Le personnel administratif se compose de Marie Lelièvre, Chantal Regnault et Marie-Rose Joly. Il faut automatiser le secrétariat. Philippe Garnier, après des consultations, oriente le choix sur deux systèmes bureautiques de Rank Xerox, de véritables petits ordinateurs avec les logiciels de bureautique, puisque la norme IBM PC n'était pas encore utilisée à cette époque. Chantal Regnault suivra des cours de formation chez le constructeur. Aucun autre service de la Météorologie Nationale n'est équipé alors de systèmes semblables, qui coûtent 100 000 FF pièce.

La logistique du centre est organisée. Michel Regnault en aura la responsabilité et un ouvrier d'Etat, Christian Lemaire, fera office de gardien du centre et s'occupera aussi des espaces verts, de la sécurité et de la maintenance du véhicule de service, un break.

Un appel d'offres est lancé pour l'acquisition d'un mini-ordinateur à connotation scientifique. Des programmes et jeux d'essais sont créés et serviront à Philippe Garnier et Jean Tardieu pour effectuer des tests sur cinq types d'ordinateurs différents et concurrents. C'est l'ordinateur Mini 6/92 de Bull qui est retenu par la Commission des marchés. Le Mini 6/92 est installé en mars 1984. Il est équipé de mémoires de masse performantes pour l'époque, comme le lecteur-enregistreur de bandes magnétiques et des packs de disques magnétiques. Une imprimante 136 colonnes complète l'équipement. Rapidement, des connexions de consoles sont venues se rajouter afin de pouvoir traiter les problèmes d'imagerie, études menées au départ par Jean Tardieu, en particulier avec deux consoles Pericolor de Numelec. Un peu plus tard, deux autres consoles sont installées, afin de permettre à l'équipe de Marcel Zéphoris, puis de Constantin Pontikis, de mettre en valeur leurs résultats sur les recherches physico-chimiques et sur les nuages chauds. Le Mini 6/92 est connecté au Cyber 175 de Paris-Alma. L'équipe informatique regroupe, dès 1985, Yvon Louis, qui assure l'exploitation, Quoc Phong Tran, Françoise Eideliman, Christine Berne, et un peu plus tard Philippe Nacass.

Lors des journées Portes Ouvertes du CRPA en 1985, le centre de calcul a attiré beaucoup de visiteurs car les présentations étaient assez ludiques. Les écoliers et lycéens étaient demandeurs.

Les stations automatiques isolées Atmos-Sigma

Ce système permet d'installer des stations météorologiques, hydrologiques ou sismologiques sur des sites isolés. La transmission des observations se fait à travers des satellites météorologiques géostationnaires comme Météosat ou GOES, et les informations sont mises sur le Système Mondial de Télécommunications de l'OMM, pour parvenir dans tous les centres météorologiques du monde dans un délai de l'ordre de 15 minutes. Plusieurs de ces stations furent installées outre-mer, notamment dans les îles éparses de l'Océan indien et dans le Pacifique.

Photo 35 : Station de télécommunication vers les satellites géostationnaires américains lors de son installation en Guyane. C'est l'équivalent des balises Argos qui transmettaient vers les satellites en orbite polaire les données provenant de stations météorologiques (Photo Météo-France)

La station Atmos-Sigma permet de transmettre automatiquement, toutes les trois heures, des informations relayées par le satellite météorologi-que géostationnaire américain GOES-Est. Les messages doivent ainsi parvenir à Washington, où l'information, décodée et mise en forme, sera introduite sur les voies du système mondial de télécommunications de l'OMM.
La station Atmos-Sigma (photo 35) comprend :
● un mât télescopique de 12 m portant anémomètre et girouette ;
● un équipement de mesure et de gestion des capteurs qui traite les données et établit le message aux normes internationales ;
● une balise Atmos d'émission satellitaire automatique.

Chaque message, comprenant la température de l'air, la pression atmosphérique et sa tendance, la pluviométrie, l'humidité relative, la force et la direction du vent, peut être disponible pour les centres de prévision quelque quinze minutes après l'émission par la station automatique.

Une opération délicate, à l'automne 1986, a été menée par Philippe Garnier, en réponse à une demande de Marc Gillet. Il s'agissait de vérifier la radioactivité d'une partie des sols de l'observatoire. En effet des campagnes de mesures de l'électricité atmosphérique effectuées antérieurement avaient largement utilisé des capsules radioactives. Le SCPRI (Service central de protection contre les rayonnements ionisants), dirigé par le fameux Professeur Pierre Pellerin, est dépositaire de la gestion de ces capsules.

Leur inventaire va intervenir plusieurs mois plus tard. Le contrôle avec compteur Geiger, par un technicien de cet organisme, va permettre de récupérer un certain nombre de ces capsules qui s'étaient enfoncées dans le sol depuis plus de vingt ans. Le technicien expliquait que ces capsules radioactives ne présentaient pas de danger au-delà de 5 cm. Il portait donc des gants pour sa protection, et saisissait les capsules avec une pince en bois, pour les ranger chacune dans une pochette différente. À un moment, il fait l'erreur de se déganter et demande à Philippe Garnier de tenir le compteur Geiger alors qu'il se saisit d'une motte de terre où il ne pensait pas trouver de capsule ; malheureusement c'est le cas.

L'opération s'arrête immédiatement et l'après-midi même le Professeur Pellerin s'en prend au téléphone à Philippe Garnier, qui le renvoie vers le Directeur de la Météorologie nationale André Lebeau. Plusieurs semaines plus tard, le SCPRI fit décontaminer au bulldozer le sol sur un rectangle de 60x100 m et une profondeur de 30 à 40 cm afin de récupérer toutes les capsules radioactives. Les déchets furent transférés à l'usine de traitement des déchets radioactifs de La Hague.

La physique du nuage

Une chambre à nucléation (photo 37), développée par Constantin Pontikis et Arlette Rigaud (photo 36) avec le concours d'Elisabeth Hicks, de José Bonnet et de Michel Beaurepaire, permet de reproduire la formation des gouttelettes de nuages à partir des particules solides de très faibles dimensions dans une atmosphère saturée. Un modèle de formation des précipitations dans les nuages chauds est développé par l'équipe et testé à Hawaï et en Guadeloupe (Pontikis, 1981).

Du 15 au 28 février 1981, une campagne de mesures a été organisée en Guadeloupe par Constantin Pontikis et son équipe (photo 38), avec la participation de plusieurs autres personnes de Magny, de

Photo 36 : L'équipe Physique du nuage en 1980, de gauche à droite Constantin Pontikis, Arlette Rigaud et José Bonnet (Photo C.Niclot)

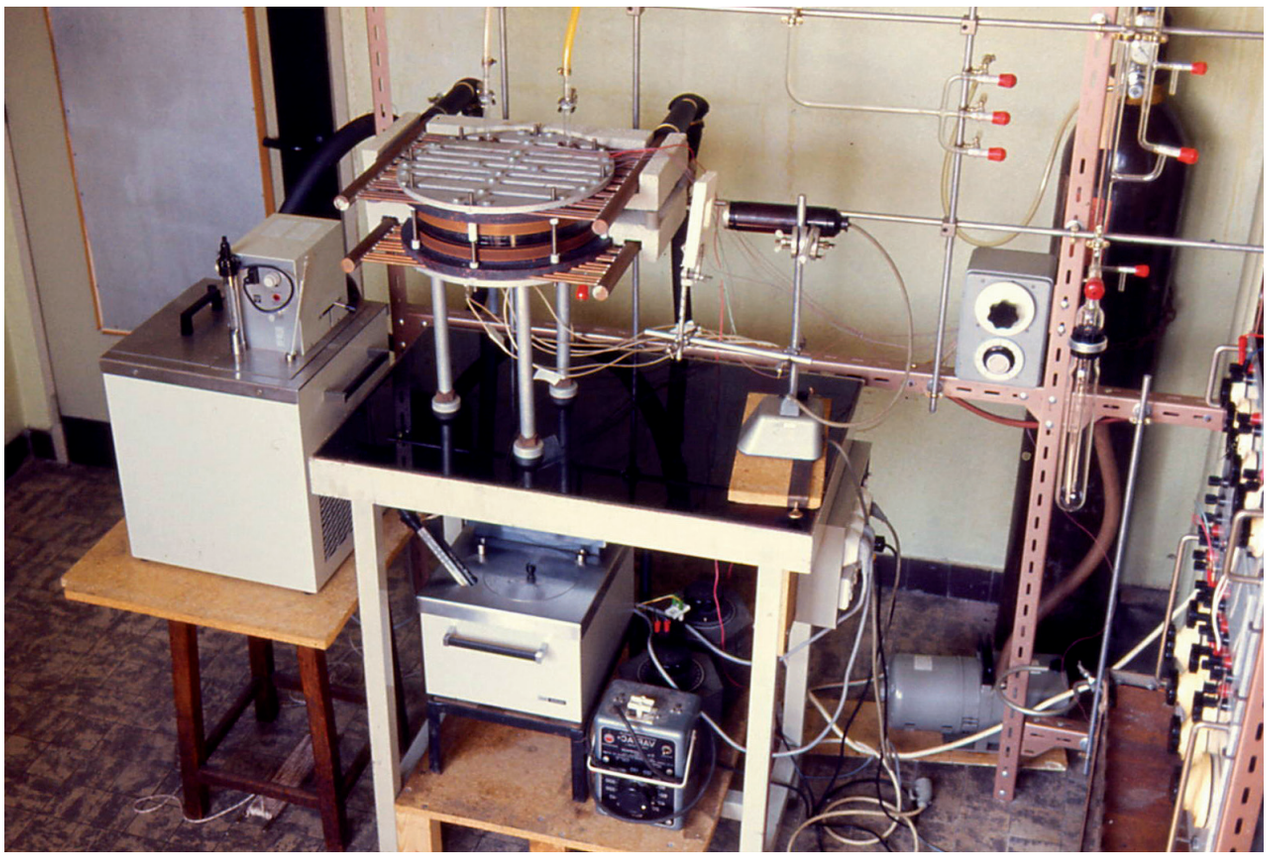


Photo 37 : La chambre à nucléation de Magny-les-Hameaux en 1977 (Photo C. Niclot)

la direction Antilles-Guyane de Météo-France, du CUAG (Centre Universitaire Antilles-Guyane) de Guadeloupe et de l'IOPG de Campistrous. Cette expérience a été décrite par Pontikis et Rigaud (1981). L'objectif était d'obtenir des données permettant de tester un modèle numérique de formation de la pluie dans les nuages convectifs dits "chauds", c'est à dire à température constamment positive jusqu'à leur sommet. De tels nuages sont très fréquents en région tropicale, notamment en Guadeloupe où ils donnent lieu à des averses certains après-midi, et pratiquement tous les jours sur le volcan de la Soufrière. Le processus de formation de la pluie y est donc différent de celui qui se produit dans les régions tempérées, où la présence de cristaux de glace au sein des nuages est indispensable à la formation des précipitations. Plusieurs sortes de mesures ont été effectuées, dont le but était la définition des paramètres caractéristiques de la formation et de l'évolution du nuage chaud. Ce fut le cas pour l'écart de température entre une masse d'air donnée et l'air environnant pour qu'il y ait initiation d'une ascendance avec formation de nuage, et pour la valeur du coefficient d'entraînement latéral, qui limite l'altitude du sommet du nuage et son contenu en eau liquide.

En pratique, il s'agissait :
- d'effectuer des sondages aérologiques dans l'atmosphère hors nuage ainsi que dans les ascendances thermiques et si possible dans les Cumulus ornant leur sommet,
- de prendre des photographies à partir de deux sites distants, montrant l'état général du ciel, la formation ou non de précipitations et permettant de calculer la hauteur, la position, la vitesse de déplacement et d'évolution des nuages,
- de calculer par simulation numérique les caractéristiques de la convection thermique, des nuages et de la pluie.

Les moyens mis en œuvre étaient les suivants :
- sur l'aéroport du Raizet (près de Pointe à Pitre), des radiosondages météo par ballon étaient effectués deux fois par jour (à 12h et 18h), tandis qu'un Sodar de 1000 m de portée était utilisé pour obtenir des « échos thermiques ». Un appareil de mesure du champ électrique vertical, mis en œuvre par le CUAG à Fouilloles, complétait le dispositif.
- sur le site de Gardel (ferme expérimentale de l'INRA, à 30 km à l'Est du Raizet), des sondages aérologiques étaient effectués avec des drones SAM-B jusque vers 1000/1500 m de hauteur/sol pendant toute la durée de la convection (8h à 18h environ). Le calculateur d'acquisition des données servait également à la simulation numérique des nuages convectifs.
- à 3 km de distance, au sommet de petites collines, deux appareils photographiques 24x36 synchronisés permettaient d'obtenir des clichés de la même partie du ciel et d'effectuer des calculs par photogrammétrie. La photogrammétrie consiste à réaliser simultanément deux clichés photographiques

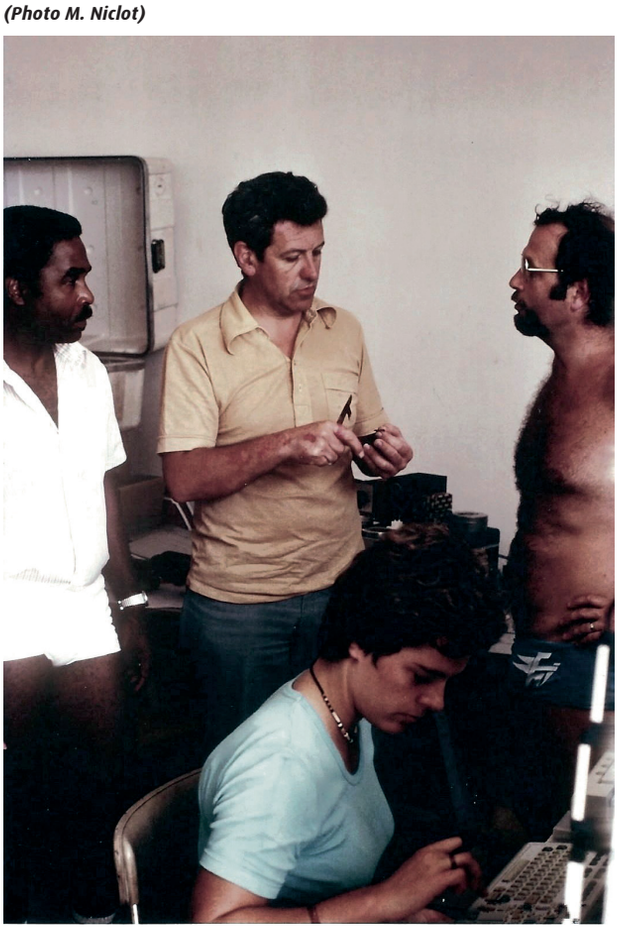
(photogrammes) d'un même objet à partir de deux points différents. La distance entre les deux points de prise de vue et les angles de visée sont pris comme références. Il convient alors de mesurer, sur les photogrammes, les coordonnées de ces points de référence ainsi que celles de points choisis sur l'objet et d'en calculer les coordonnées cartésiennes pour en obtenir la position et les dimensions.

À la suite de cette campagne, A. Rigaud et C. Niclot ont rédigé conjointement une note de travail (n°7, septembre 1981) sur l'utilisation de la méthode photogrammétrique.

La campagne s'est déroulée dans d'excellentes conditions, tant sur le plan météorologique que sur celui du fonctionnement du matériel. Les radiosondages biquotidiens du Raizet ont été complétés par 52 sondages SAM et près de 5500 clichés photogrammétriques répartis en 972 séquences.

Le site de Gardel s'est révélé bien adapté à l'étude. Il avait été choisi, d'une part, en raison de la présence très fréquente de cumulus se formant, soit localement sous l'effet de la convection, soit sur l'île de La Désirade toute proche, puis dérivant dans les vents Alizés (de secteur Est). D'autre part, une petite prairie à l'herbe rase et verdoyante proche de la ferme était idéale pour l'atterrissage des drones, tandis que la station de réception et le calculateur étaient installés au frais dans une pièce de l'INRA ! Pour l'étude microphysique, 5 journées ont été particulièrement intéressantes en photogrammétrie.

Photo 38 : Campagne en Guadeloupe en 1981 ;
C. Latulipe, C. Niclot et B. Bénech en discussion pendant que Claire Villien se concentre sur son ordinateur
(Photo M. Niclot)



Le programme de simulation du nuage chaud a été testé tous les jours avec les données du radiosondage du matin à l'aide des moyens locaux. L'ensemble des données a été publié dans une note de travail de l'EERM et les calculs microphysiques se sont poursuivis sur des calculateurs plus puissants en métropole.

Chimie des précipitations

Comme cela a été évoqué précédemment, Francis Borrel s'intéressait déjà, dans les années 50, à la surveillance de la chimie des précipitations à Magny. Le problème d'acidification des lacs, rivières et forêts, s'étant aggravé dans les années 70-80, Marcel Zéphoris et son équipe ont conduit, avec un soutien financier du Ministère de l'Environnement, une étude consistant à mesurer en continu, pendant 18 mois, le pH, la conductivité électrique et la composition chimique des précipitations sur le site de Magny (photo 39), avec quatre grands objectifs :
1. comparer les performances de 2 collecteurs de précipitations : un pluviomètre à ouverture permanente et un autre à ouverture pilotée par un détecteur de précipitations, avec un système développé par Bernard Charondière au Setim, modifié légèrement au fur et à mesure de l'avancement de l'étude,
2. mesurer en continu l'évolution du pH et de la conductivité au cours d'une précipitation avec un pas d'échantillonnage de l'ordre du millimètre de hauteur d'eau,
3. déterminer la concentration des principaux ions majeurs dans les précipitations pour diverses situations météorologiques,
4. rechercher d'éventuelles corrélations entre les paramètres physico-chimiques de la précipitation, le type de précipitation et les secteurs géographiques traversés par les masses d'air à l'origine de cette précipitation.

La mesure des dépôts atmosphériques par voie humide nécessite l'usage d'un collecteur muni d'un couvercle se découvrant automatiquement au début de la précipitation, afin qu'aucun dépôt sec recueilli entre les précipitations ne vienne contaminer le cône de prélèvement ; ce dépôt, très variable, peut en effet, dans certains cas, être supérieur au dépôt par voie humide.

Les résultats de ces mesures (voir Zéphoris et al., 1984, Abonnel et al., 1985) ont fait apparaître, entre autres, que la conductivité électrique était un bon

traceur de la "contamination" de l'eau de pluie. La courbe de l'évolution de ce paramètre au cours d'un événement, permet, dans certains cas, d'identifier l'origine de la précipitation, en comparant sa forme à des formes types établies expérimentalement pour le site.

Pollutions transfrontières

Les premières campagnes de mesures aéroportées du dioxyde de soufre et des sulfates dans les aérosols ont été effectuées en 1973 et 1974 par Marcel Zéphoris et son équipe (GMI/MPC) sur l'avion du CAM de Brétigny. À la demande des Communautés Européennes, une évaluation des quantités de soufre qui transitaient, dans les basses couches de l'atmosphère, au-dessus de l'Europe du Nord, était visée. Des mesures aéroportées étaient demandées, afin de caler et d'affiner les estimations des modèles.

La France était chargée de quantifier ces transferts le long de sa frontière Nord-Est, la mesure des polluants étant confiée à la Météorologie nationale. Les campagnes de mesures étaient déclenchées sur alerte par un comité de programme, quand des conditions météorologiques favorables à ces transferts étaient prévues. Ce comité était constitué de météorologistes et de spécialistes de la chimie de l'atmosphère de Suède, des Pays-Bas et de France. Le Cessna 206 du CAM a été instrumenté afin de pouvoir prélever, sur filtres, le soufre sous formes gazeuse et particulaire présent dans les basses couches. Les prélèvements étaient ensuite dosés, en laboratoire, suivant le protocole imposé par le comité scientifique du programme. Les concentrations prévues de SO_2 étant de quelques dizaines de microgrammes, la contrainte forte était de filtrer un grand volume d'air dans le temps le plus court possible. Idéalement le pas d'échantillonnage ne devait pas excéder la centaine de kilomètres.

Après avoir testé une pompe grand débit électrique, la solution retenue a été, sur une idée de Michel André, d'utiliser une batterie de tubes de Venturi. L'outil de prélèvement étant au point, Jacques Bondon, Jean-Paul Meyer, et Marcel Zéphoris, pour le CRPA, et Michel André et René Roumiguières, pour le CAM, ont participé aux différents épisodes de transfert de pollution sélectionnés par le comité de programme.

À la suite du passage du Cessna au Piper-Aztec, les possibilités instrumentales se sont trouvées nettement plus ouvertes, tant en volume disponible qu'en énergie électrique. L'équipe a adapté une instrumentation de mesures temps réel, avec un pas de temps de l'ordre de la minute, pour les polluants gazeux (SO_2, O_3). La demande européenne étant forte pour quantifier les transferts des différents polluants par

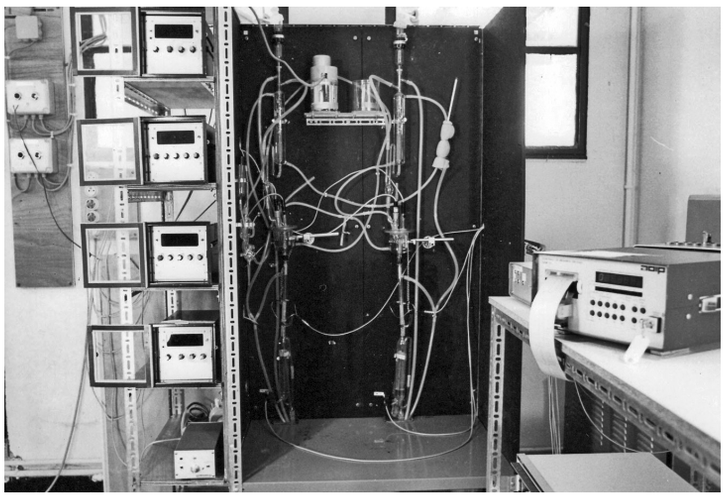


Photo 39 : La chaîne de mesure des caractéristiques chimiques de précipitations utilisée à Magny-les-Hameaux (Photo M. Zéphoris)

les nuages, M. Zéphoris et C. Abonnel se sont attaqués à la collecte des gouttelettes de nuages depuis l'avion du CAM (photo 40). Nadine Cénac avait déjà défriché le problème en développant des collecteurs de brouillard (Cénac et al., 1987), dont l'un des modèles a été adapté à la collecte de gouttelettes dans un nuage impactant un relief (photo 41).

La mise au point du collecteur aéroporté de gouttelettes a nécessité de construire une soufflerie dans une chambre à brouillard de 300 m^3, qui sera installée sur le toit terrasse de l'aile Est du bâtiment principal de l'observatoire. Cette soufflerie permettait d'optimiser, dans les conditions de vol du Merlin IV en nuages et à la vitesse de 100 mètres par seconde, la géométrie et les écoulements dans les différentes versions des collecteurs imaginés. Les prototypes seront testés en vol sur le Merlin IV, fixés à un mât spécialement construit pour les recevoir (voir photo 40). Les trois pilotes de l'avion (Michel André, Michel Charpentier et Marie-Pierre Le Pipec/Lefebvre) ont été mis sous pression mais ont effectué avec enthousiasme une longue série de vols en

Photo 40 : Deux collecteurs de gouttelettes de nuages fixés sur le Merlin IV du CAM (Photo M. Zéphoris)

nuages. En parallèle, la mesure des précurseurs de l'acidification des nuages n'était pas négligée et une série de capteurs, bien adaptés à la mesure aéroportée en temps réel, a été développée pour la mesure de dioxyde de soufre, de l'ozone et de l'eau oxygénée dans la phase gazeuse.

La taille du Merlin IV permettait donc de regrouper sur un même avion, la mesure des paramètres météorologiques de l'atmosphère, de la microphysique des nuages, de la concentration des précurseurs gazeux et l'échantillonnage des gouttelettes de nuages pour une analyse différée de leur composition chimique. Avec les systèmes destinés à collecter les gouttelettes dans les nuages impactant les sommets des reliefs, Météo-France disposait enfin de toute une panoplie de moyens (Zéphoris et al., 1989) pour étudier le transport et la transformation des constituants atmosphériques présents sous forme de traces, d'origines naturelle et anthropique (photo 42).

À la fin des années 80, les moyens de mesures de l'EERM ont été intégrés dans le programme de recherche européen Eurotrac (1987) dont l'objectif principal était : « améliorer la compréhension scientifique du comportement, du transport et des effets de la pollution dans la couche inférieure de la troposphère, afin de soumettre aux décideurs politiques des recommandations de meilleure qualité concernant les stratégies de réduction et de prévention de la pollution ».

Photo 41 : Collecteur de gouttelettes de nuages impactant un relief (Vosges, 1989, photo M. Zéphoris)

Le réseau BAPMoN et la Veille de l'Atmosphère Globale

À la fin des années 60, l'OMM lance un vaste projet visant à coordonner l'activité d'un réseau de stations mises en place par les états membres, pour une surveillance à long terme et en continu de certaines espèces chimiques susceptibles d'influencer le climat. Lors de la création du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, ce réseau est intégré sous le nom de BAPMoN. Il s'insère ensuite, en 1989, dans la Veille de l'Atmosphère Globale (GAW en anglais) (photo 43). En 1977, la Direction de la météorologie a équipé dans ce cadre six stations régionales pour la surveillance de la pollution de fond : Abbeville, Carpentras, Gourdon, Château-Chinon, Phalsbourg et Rostrenen. Trois d'entre elles effectuaient également une mesure du trouble atmosphérique : Carpentras, Gourdon et Rostrenen. Les paramètres mesurés dans les précipitations étaient les suivants (voir Zéphoris et al., 1984) : le pH, la conductivité, les concentrations en ions minéraux majeurs (Sodium, Potassium, Calcium, Magnésium, Ammonium, sulfates, nitrates, chlorures).

Le SMM assurait la collecte des échantillons de précipitations et la mesure du trouble atmosphérique. Le Setim, qui avait développé le collecteur de précipitations, assurait la logistique du réseau.

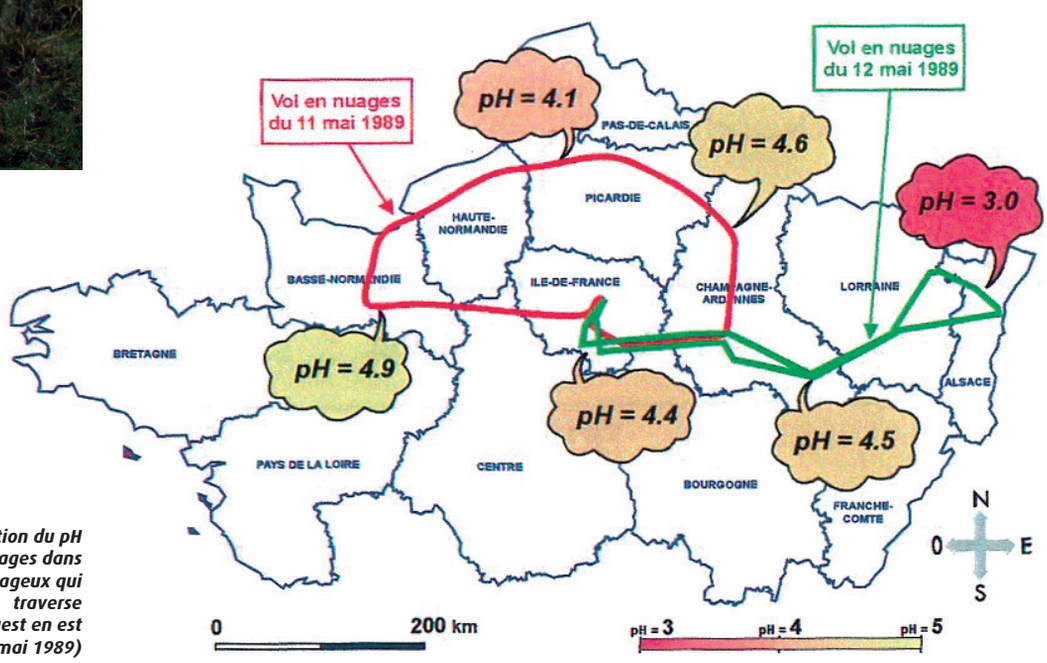


Photo 42 : Evolution du pH des gouttelettes de nuages dans un grand système nuageux qui traverse la France d'ouest en est (Mesures Météo-France, mai 1989)

Les analyses étaient effectuées dans un laboratoire central extérieur, sous la responsabilité de l'EERM, qui coordonnait le projet et adressait les données au National Climatic Data Center (NCDC) à Asheville aux Etats-Unis.

Estimant que les stations n'étaient plus représentatives de la pollution de fond, trop influencées par des sources locales de pollution (habitat, industries et activités agricoles), Météo-France a décidé d'arrêter la collecte des précipitations en octobre 2009. Sur la première décennie d'échantillonnage hebdomadaire de la période d'étude effectuée dans le cadre du CRPA, il apparaissait déjà nettement des taux d'acidité des précipitations caractéristiques du site de prélèvement. On a observé en particulier une diminution de l'acidité dans le temps, avec une baisse très importante des sulfates non-marins dans les précipitations d'Abbeville, en correspondance avec les baisses des émissions de SO_2 des industries et des centrales électriques depuis les années 80.

L'utilisation de rétro-trajectoires des masses d'air qui ont généré les précipitations, et une classification de celles-ci pour attribuer un secteur géographique à chaque échantillon hebdomadaire, ont montré que l'origine des masses d'air avait une grande importance sur l'acidité des précipitations. Le caractère orageux de la pluie influençait aussi sa composition chimique (Cénac et al., 1998). Trente ans de mesures confirmeront la tendance à la baisse de l'acidité des précipitations en France, avec une stagnation des dépôts de sulfates après les années 90. En revanche, les dépôts moyens des ions nitrate et ammonium, qui contribuent à la fois à l'acidité et à l'eutrophisation des écosystèmes, resteront stables au cours de cette période (Le Moullec et al., 2011).

Lidar

Dans le cadre d'une collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) et le Laboratoire d'aéronomie, une station Lidar adaptée à la cartographie des polluants gazeux et particulaires a été mise au point à Magny-les-Hameaux. Elle a été employée en 1983, sur le site de Fos sur Mer, dans le cadre d'une campagne européenne de mesures à distance de la pollution. Cette technique permet, à l'aide d'un Laser, de mesurer à distance certaines propriétés physico-chimiques du milieu atmosphérique, avec une excellente résolution. Les développements effectués au CRPA par Didier Renaut ont permis de mesurer les profils verticaux de l'humidité et des aérosols (poussières, brumes) et la visibilité dans la basse atmosphère. Elle a aussi abouti à la définition d'un prototype de visibilimètre oblique destiné à la sécurité aéronautique.

Le visibilimètre routier Visivia

Le principe de ce développement conduit à partir de 1978 par Jean-Louis Gaumet, avec P. Salomon et Quoc Phong Tran, repose sur la diffusion de la lumière par les gouttelettes de brouillard. On utilise une source lumineuse et un récepteur optique placé à proximité qui recueille la lumière diffusée. La lumière reçue est d'autant plus intense que la visibilité est réduite (photo 44).

L'objectif du programme est de disposer d'un visibilimètre adapté à la mesure de l'intensité des brouillards denses sur les voies routières. Cette

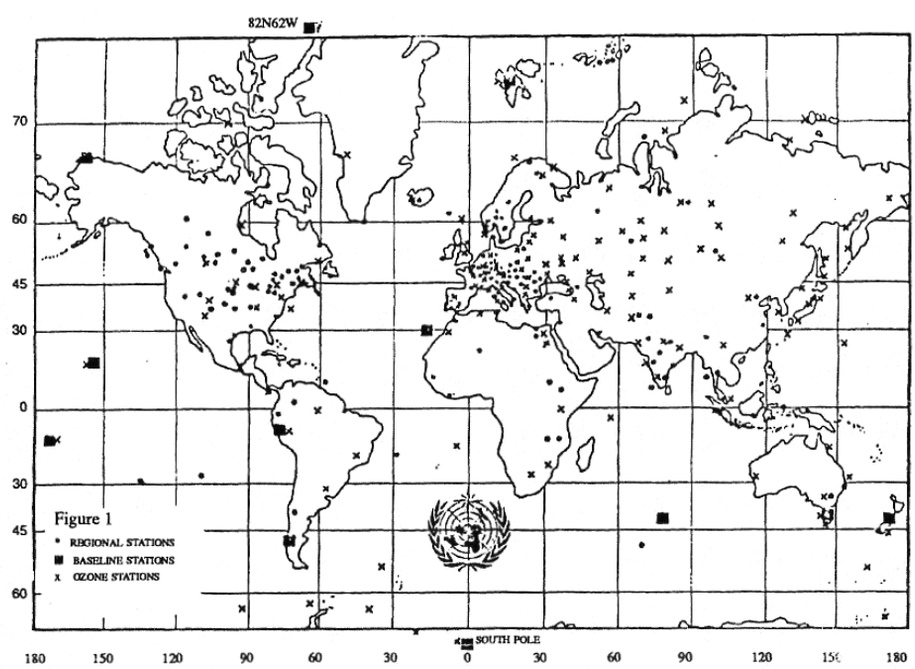


Photo 43 : Le réseau de la Veille Atmosphérique Globale de l'OMM (figure OMM, 1989)

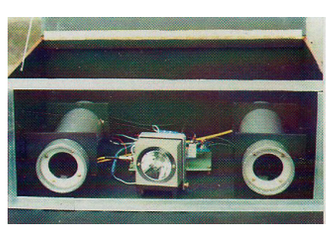


Photo 44 : Le visibilimètre routier Visivia (Photo T. Leroy)

demande a été exprimée par les services des Ponts et Chaussées auprès de la Météorologie Nationale. Les résultats positifs de la pré-étude ont conduit à une étude complète des caractéristiques d'un prototype. Avec ce prototype, différentes expériences ont été conduites pour qualifier l'instrument : validité des mesures, fiabilité vis-à-vis des conditions météorologiques défavorables. Le programme a abouti à la définition d'un instrument performant quant au rapport qualité/prix, le coût du visibilimètre Visivia étant de l'ordre de 20 000 FF (soit un peu plus de 3 000 euros).

La même équipe, conduite par J.L. Gaumet, initie à Magny-les-Hameaux un appareil dénommé Solia, destiné à déterminer l'état du sol en indiquant notamment l'occurrence de précipitations verglaçantes et la hauteur de la neige. Cet appareil est industrialisé par la société Degréane Horizon.

Interaction atmosphère, glace, océan

Sous la conduite de Marcel Zéphoris, l'observatoire participe au programme franco-américain Iago d'étude expérimentale par sondage et par modélisation des écoulements catabatiques en Antarctique. Il s'agit de vents, soudains et parfois violents, rencontrés sur la bande côtière de la Terre Adélie. Cette expérience est décrite au chapitre suivant.

L'imagerie numérique à l'observatoire

Le développement du réseau radar dans le cadre d'Aramis se devait d'être complété par des études concernant l'utilisation des données recueillies. C'est dans ce cadre que furent acquis un mini-ordinateur et une station de visualisation d'images Pericolor fournie par la société Numelec. Une entité autour de Jean Tardieu fut constituée. L'objectif principal concernait l'hydrologie, à partir, outre les données des stations pluviométriques, des divers outils de télédétection, notamment les images dans le visible et l'infrarouge du satellite Météosat acquises par le CMS à Lannion et transmises par bandes magnétiques ; ces images n'étaient, au début des années 80, qu'une imagerie brute provenant du satellite, ce qui nécessitait de les "naviguer" pour compenser les mouvements de la plate-forme spatiale et de les reprojeter sur une grille géographique standard pour permettre la colocalisation avec d'autres données.

La programmation fit l'objet d'un projet nommé Sarah (*Satellite-Radar pour l'Hydrologie*), avec de premiers essais pour restituer les lames d'eau, ce qui a nécessité le développement d'outils comme l'advection des cellules convectives. Les outils de traitement d'images donnèrent l'occasion de visualiser le résultat des modèles atmosphériques en cours de développement, en complément des sorties sur l'imprimante de l'Alma. Les animations rendues possibles par les équipements de Magny, permirent à l'équipe de modélisation de découvrir certains comportements difficiles à déceler sur les simples sorties sur papier.

L'expérience acquise sur les animations d'images, provenant de radars, de satellites et de modèles numériques de prévision, servit au concept Météo-Média qui, dans les années 90, redéfinira les échanges entre les chaînes de télévision et Météo-France.

Un système pour la prévision immédiate : Aramis et Météotel

L'observatoire est à l'origine de la transmission d'images numériques des radars de la DMN vers les centres de prévision et du développement du réseau de radars de Météo-France Aramis, lancé à la fin de l'année 1981 sous la responsabilité de Marc Gillet et qui fut le premier projet inter-services formellement organisé à la Météorologie nationale. Marc Gillet et Claude Gaillard, avec Jean Tardieu, Rémi Paillissé et Robert Peytavi, ont développé à Magny-les-Hameaux, en liaison avec le CTM de Trappes, la numérisation des trois radars Melodi et du radar Plessey de Grèzes, les consoles Météotel de déport d'image (photo 45) et le concentrateur de données radar ; ce concentrateur produisait régulièrement, dès 1985, une image composite des radars du réseau toutes les 15 minutes, rediffusée immédiatement vers les consoles Météotel par le réseau de lignes spécialisées de la DMN. L'ensemble était conçu autour de la technologie OEM (*Original equipment manufacturer*) et du bus du constructeur Intel, et utilisait des cartes Matrox très récentes qui permettaient de s'affranchir de la limite de 1 Mo de mémoire adressable des processeurs 16 bits de l'époque, de traiter simplement des images et de les visualiser directement sur un écran couleur. Heureusement, certains gestionnaires avisés qui recommandaient des écrans noir et blanc par mesure d'économie ne furent pas écoutés.

Malgré le succès de la première chaîne Saphyr, la DMN, alors dirigée par R. Mittner et fort mal dotée en crédits, hésitait à financer la numérisation des radars Melodi à l'aide de ces équipements, jusqu'au jour où R. Mittner reçut une lettre portant le sceau "On her Majesty's Service". Le Directeur du Met-Office, Sir John Mason, se déclarait intéressé par les données du radar de Brest pour les prévisions sur l'Angleterre, et proposait de le numériser avec un

système mis au point au Royaume Uni. Cette lettre avait été rédigée par nos collègues britanniques Chris Collier et Keith Browning, en lien avec l'équipe radar de Magny-les-Hameaux. Elle fut reçue comme une insulte à l'orgueil national. Les crédits nécessaires à la numérisation de Brest et Bordeaux furent donc immédiatement mis à disposition de l'équipe de Magny-les-Hameaux. C'est ainsi que la DMN disposa rapidement de trois radars Melodi numérisés. L'amitié franco-britannique n'en souffrit pas, puisqu'un échange actif de données avec le Met-Office se mit en place, et que les deux services entrèrent en rivalité pour numériser le radar Plessey de Jersey, qui n'eut lieu malheureusement que bien plus tard.

L'installation et la maintenance des radars relevait de l'équipe radar du CTM, dirigée par René Aureau, puis par Jean-Pierre Musiedlak, et avec le concours très actif de Patrick David. La DMN avait acquis à cette époque sept radars Thomson en bande C de type Rodin, dont seul le premier exemplaire était installé à l'observatoire de Trappes. Les autres ne furent installés que progressivement, en raison des difficultés liées au choix des sites, aux autorisations d'émission et à l'acquisition des terrains. Des interventions politiques malencontreuses s'y ajoutèrent, compliquant parfois les installations. Ce fut par exemple le cas quand la DMN se trouva obligée, sous la pression d'un notable local, d'installer un radar Rodin dans la région d'Agen en appui à des opérations de lutte contre la grêle dont l'inefficacité était pourtant déjà bien établie. Il fallut attendre ensuite plusieurs années avant de déplacer ce radar vers un site plus approprié.

Photo 45 : La console Météotel 1, avec son modem téléphonique, son clavier 16 touches et son imprimante couleur (Crédit photo: ©météo-France, G. Piat)

Il était initialement prévu, dans le cadre du projet Aramis (voir Gillet et Ciccione, 1983 - photo 46 -), que la concentration des données radar serait effectuée par un nouveau calculateur de transmissions alors en cours de développement et nommé Comete, situé au Centre de traitement de l'information (Ceti) à Paris, et que le traitement de la mosaïque radar serait effectué par le calculateur central CDC 835 de la DMN. Cependant cette solution apparut rapidement irréalisable aux informaticiens du Ceti, et il

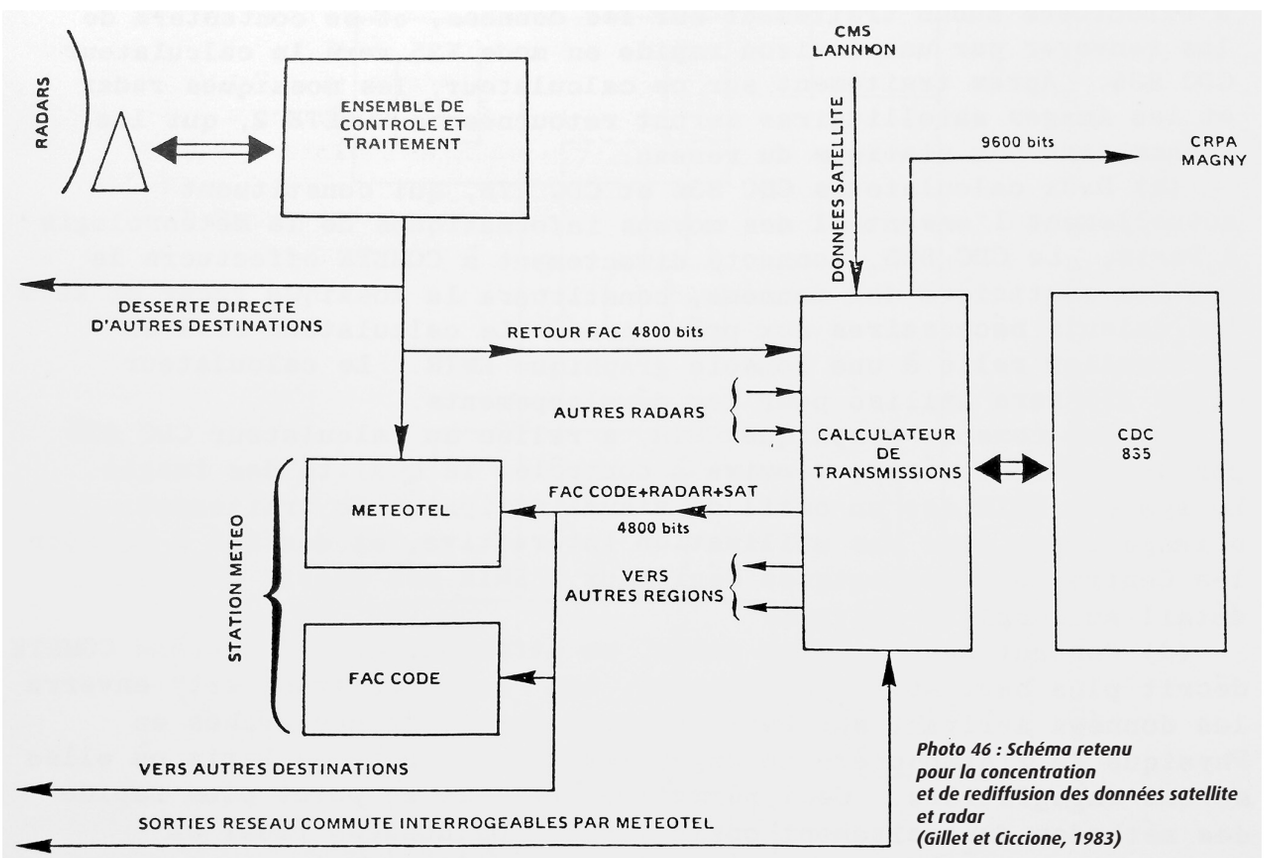


Photo 46 : Schéma retenu pour la concentration et de rediffusion des données satellite et radar (Gillet et Ciccione, 1983)

fut décidé de fabriquer le concentrateur de données à Magny-les-Hameaux, en utilisant les technologies OEM du fabricant Intel déjà employées pour la chaîne Saphyr et Météotel. Ce concentrateur radar fut développé, installé à Paris et connecté au réseau de télécommunications, en un temps très court, dès la fin de l'année 1984, par Claude Gaillard, Rémi Paillissé et Robert Peytavi. Il fonctionna pendant de nombreuses années avec une très grande fiabilité (Gillet,1985).

Vincent Pircher a contribué, entre 1983 et 1987, aux études sur l'imagerie radar et satellite, ainsi que plusieurs stagiaires, dont Monique Ciccione en stage d'Ingénieur de la Météorologie, Fred Carvalho de l'Université de Bauru (Etat de São Paulo au Brésil) sur une durée d'un an et Aurélien Kouakou (Côte d'Ivoire) pendant deux ans pour une thèse de troisième cycle.

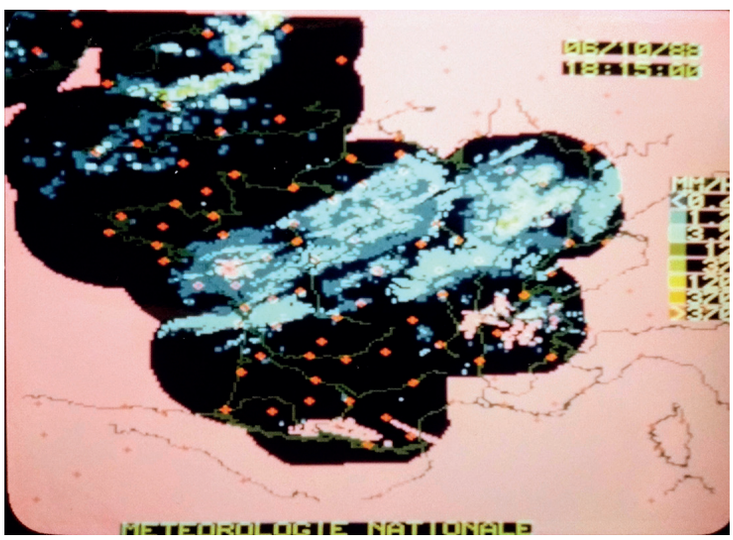


Photo 47 : Image composite radar sur Météotel du 6 octobre 1988 (Photo G. Piat)

Photo 48 : Conférence de météorologie radar organisée à Paris par l'American Meteorological Society et la Société Météorologique de France en 1991 (Photo C. Lafayne)

La fin programmée de l'observatoire

En juin 1985, Marc Gillet quitte la direction de l'observatoire, qui est reprise par Constantin Pontikis. C'est à cette occasion que le projet Météotel est disjoint du projet Aramis. En effet, Météotel est devenu un outil essentiel de prévision dans les Centres départementaux météorologiques (CDM) comme dans les Centres inter-régionaux. Claude Gaillard est alors nommé Chef du nouveau projet Météotel. Marc Gillet est nommé chef du Setim, nouvelle dénomination du CTM, et conserve la conduite du réseau radar Aramis.

C. Pontikis continuera à travailler sur la microphysique et l'entraînement dans les nuages chauds (voir par exemple Pontikis et al., 1987). En septembre 1990, il part pour l'université Antilles-Guyane pour y occuper un poste de professeur et de chercheur, et poursuivre ses investigations sur les nuages chauds et la météorologie tropicale. C'est Claire Villien qui est nommée responsable de l'observatoire, devenu EERM/LIMA (Laboratoire d'Instrumentation et de Météorologies Appliquée). Les activités instrumentales se sont poursuivies pour être, l'une après l'autre, ou bien supprimées, ou bien transférées vers Toulouse ou vers Trappes.

À partir de 1991 l'observatoire est progressivement abandonné par la Météorologie nationale. Les personnels restants sont affectés le plus souvent à Trappes, au Setim, où ils peuvent parfois continuer à exercer leurs compétences dans des développements instrumentaux. D'autres sont affectés à du travail de bureau à Paris. Claire Villien et son mari Yvon Louis offrent leur pot de départ en avril 1992, avant leur affectation au CMS à Lannion au 1er mai 1992. Le calculateur Mini-6 du CRPA est transféré au centre d'Aviation Météorologique de Brétigny.

Le terrain et les bâtiments de l'observatoire restèrent ensuite plusieurs années à l'abandon, l'établissement public Météo-France nouvellement créé s'efforçant d'obtenir le produit d'une vente du terrain, revendiqué par ailleurs par les services des domaines de l'Etat. Le bruit courut, en outre, que la commune de Magny-les-Hameaux avait classé ce terrain comme terre agricole, ce qui réduisait sa valeur quasiment à néant et n'incitait pas à sa vente. Les bâtiments abandonnés furent rapidement squattés par des personnes sans domicile fixe et il fallut les raser pour éviter des complications. Ces difficultés finirent néanmoins par être résolues, et aujourd'hui un hôtel low cost de la chaîne des résidence-hôtels Zénitude a été construit à l'emplacement exact de l'observatoire. Il ne reste plus aucune trace des bâtiments de l'ancien observatoire météorologique de Magny-les-Hameaux.

La présence dans les grandes expériences d'observation

Depuis sa création, l'observatoire de Magny-les-Hameaux a participé à de nombreuses campagnes de mesure, dont les principales figurent dans le Tableau suivant

Année	Lieu	Objectifs
1967	Radiosondages à Magny-les-Hameaux, Chartres et Pithiviers	Equipe Haute Altitude
1970	Châteauroux (juin)	Mesures basses couches
1970	Fos et étang de Berre	Pollution et basses couches
1972	Iles Kerguelen (janvier-mars)	Mousson stratosphérique
1973	Lille (en février)	Mesures basses couches
1973	Châteauroux	Mesures basses couches
1973	Aire sur l'Adour	Mesures basses couches
1974	Fouquescourt (Santerre)	Mesures basses couches
1974	Centre d'essais des Landes	Basses couches, propagation du son
1974	GATE Ceinture intertropicale en Afrique et sur l'Atlantique	Mécanismes tropicaux
1975	Chigné, Maine et Loire	Mesures basses couches
1975	Fessenheim automne 75, février 76, Automne 76	Etude de site nucléaire
1976	Fronts 76, en juin avec un seul radar Ronsard	Fronts
1977	FRONTS 77, entre Magny-les-Hameaux, Ablis et Rouen	Fronts
1977	Voves Villeau (Beauce)	Couche limite homogène
1977	Essais préparatoires à Wamex	Convection tropicale
1977	Vallée du Rhône – Basé à Valence/Aéroport Chabeuil	Ecoulement dans la vallée du Rhône, Mistral
1978	Grossversuch, à Beromünster (près de Lucerne)	Test de la méthode soviétique de suppression de la grêle
1978	Captieux (Landes)	Observation de nuages chauds
1979	Copt 79 - Korhogo (Côte d'Ivoire)	Préparation de Copt 81
1979	Fronts 79 – Basé à LUGOS - 33830	Dynamique des fronts orageux
1979	PEMG- Première Expérience Mondiale du GARP	Equipe mobilisée sur navires
1979	Wamex	Mousson ouest-africaine
1979	Valence Sites nucléaires de Cruas, Tricastin, Saint Alban	Etudes de sites
1980	Gelées – Basé à La Française -82130- Le Saula	Dynamique du gel dans un paysage de coteaux
1980	PAP à Valladolid Espagne	Augmentation des précipitations
1981	PAP à Valladolid Espagne	Augmentation des précipitations
1981	Copt 81 – Korhogo -Côte d'Ivoire-sur l'aéroport	Convection profonde en situation de mousson
1981	Guadeloupe	Nuages chauds
1982	Alpex – Fréjus – 83600 – Base militaire	Influence des Alpes sur l'écoulement à mésoéchelle
1983	Fos 83 – La Fare les Oliviers 13580 - Aérodrome	Etude pollution sur Fos-Berre
1983	Boves (Vallée de la Somme)	Evaporation et turbulence sur un plan d'eau
1984	Fronts 84 – Meso-Gers -Averron-Bergelle	Dynamique des fronts orageux
1985	Iago – Terre Adélie - RS libre et RS sous Parasonde –	Vents catabatiques

Nous évoquons ici la présence d'équipes de l'observatoire de Magny-les-Hameaux dans quelques grandes expériences météorologiques, depuis les premières mesures effectuées en 1977, jusqu'à Iago fin 1985, en incluant les grandes expériences mondiales telles que GATE dès 1972, Wamex en 1979 en Afrique et Alpex en 1982. La participation de la Météorologie nationale sera moins significative pour les expériences mondiales qui ont suivi, comme Monex Hiver et Monex Eté en Asie. C'est le LMD (Laboratoire de météorologie dynamique) de l'université Paris VI qui participera à ces campagnes de mesures.

GATE en 1974

Le GARP (Global Atmospheric Research Program) a été suscité par le vote à l'Organisation des Nations unies (ONU) des résolutions 1721 et 1821 au début des années 1960. Ces campagnes seront mises en œuvre conjointement par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Conseil International des Unions Scientifiques (CIUS) à la suite de la signature d'un protocole d'accord signé à Rome en 1967.

La France n'a pas réussi à obtenir deux navires pour chacune des trois campagnes de mesures. Lors de la première période, nous n'avons disposé que du navire océanologique "Le Charcot" du Cnexo. Le navire des TAAF (*Terres australes et antarctiques françaises*), le Marion Dufresne, a déclaré forfait avant le début de la seconde campagne pour un problème d'arbre de transmission et il a fallu lui trouver un remplaçant afin de tenir nos engagements internationaux. Après de multiples recherches, seul le navire "La Perle" de l'ISTPM (*Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes*, qui sera intégré plus tard à l'IFREMER) s'est révélé disponible. Il a fallu l'équiper à grande vitesse en mesures météorologiques et ce sont les techniciens de l'équipe Paul Dumas et Pierre Rainteau de Magny-les-Hameaux qui s'en sont chargés. Avec Philippe Garnier, ils ont dû aller acheter des ventilateurs et des sels pour assécher l'atmosphère, car le système de radiosondage Oméga de Vaisala exigeait une pièce climatisée ; or la climatisation de "La Perle" ne fonctionnait plus. Il a fallu transférer le budget dévolu aux TAAF pour la Marion Dufresne sur le budget de l'ISTPM, ce qui amena bien des problèmes administratifs. C'est le Secrétaire général à la Marine Marchande qui débloqua la situation.

Il s'agit de mieux connaître l'atmosphère globale, en débutant par de meilleures observations dans la zone intertropicale, là où les observations météorologiques et océanologiques sont insuffisantes. L'atmosphère globale ne sera réellement abordée qu'en 1978 avec la PEMG. En 1974, le GATE (GArp Tropical Experiment, ou ETGA en français) (photo 49), ne concerne donc qu'une partie de la ceinture intertropicale comprise entre le 20° Nord et le 10° Sud, incluant l'Afrique, l'Océan Atlantique et une partie de l'Amérique Centrale et du Sud.

Onze pays, dont le Sénégal, participent à cette campagne de mesures météorologiques et océanologiques. L'OMM désigne l'EERM comme "leader" pour la France dès 1972, pour une campagne de 100 jours, divisée en trois périodes. Divers laboratoires français sont associés à cette expérience (Lamp de Clermont-Ferrand, LOA de Lille, Orstom, Cnexo, Laboratoire de Lannemezan, ...) et bien sûr des personnels de la Météorologie nationale et de l'Asecna. C'est l'ingénieur en chef Jean Alt, qui revient du Centre d'essais du Pacifique (CEP) de Papeete, qui prend la responsabilité de cette expérience du côté français. De nombreuses réunions préparatoires ont eu lieu à Bracknell, Washington et Moscou. Les responsabilités et les tâches sont réparties entre les partenaires principaux que sont les Etats-Unis, la Grande Bretagne, l'Allemagne Fédérale, la France et l'URSS. Jean Alt, aidé par Guy Meallares du CTM, s'occupe de la sélection des personnels, de l'organisation de toute la logistique, des contacts avec les organismes nationaux et des dispositions administratives à prendre afin que les personnels puissent être détachés de leur service d'origine pendant au moins 100 jours. Ils seront alors affectés à l'Asecna à Dakar. Un seul oubli est à noter jusqu'en mars 1974 du côté français, celui du traitement des données que les pays participant à GATE se sont engagés à fournir à la communauté scientifique internationale dans un délai de six mois après la fin de la campagne GATE ! Philippe Garnier, qui a quitté SMM/Clim/Calcul, se voit attribuer la responsabilité de rattraper deux années de retard avec l'utilisation de systèmes nouveaux : radiosondages automatiques Omega, données de l'avion DC-7 du Centre d'essais en vol (CEV) de Brétigny, données des dropsondes, données des laboratoires associés comme le Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA) pour les données radiométriques, et le Laboratoire de météorologie physique (Lamp) de Clermont-Ferrand pour les données microphysiques enregistrées sur le DC-7.

Le directeur de l'expérience GATE a été désigné ; il s'agit du Dr. Joachim Kuettner, américain d'origine allemande, qui faisait partie de l'équipe de Werner Von Braun durant la seconde guerre mondiale. C'est un spécialiste renommé du vol à voile, des fusées et des satellites. Le quartier général de l'expérience est installé sur l'aéroport de Dakar–Yoff au GOCC (GATE Operational Control Center). Chaque pays a désigné ses responsables auprès de Joachim Kuettner. Jean Alt est le représentant de la France, Jean-Paul Goutorbe le responsable scientifique, Guy Meallares, le responsable logistique et Philippe Garnier le responsable national du traitement des données.

La campagne de mesures commence le 15 juin 1974 et s'achève le 23 septembre 1974. C'est la première grande campagne scientifique internationale organisée par l'OMM et le CIUS. Jamais de tels moyens n'avaient été mis à la disposition de la communauté scientifique internationale. Quarante navires, douze avions spécialisés, 4 000 spécialistes, provenant de 11 pays, vont participer au GATE.

Les moyens apportés par les pays participants sont les suivants : Allemagne Fédérale, 3 navires, République démocratique allemande, 1 navire, Brésil, 2 navires, Canada, 1 navire, Etats-Unis, 9 navires et 8 avions, France, 4 navires et 1 avion (le DC-7 du CEV de Brétigny), Grande Bretagne, 4 navires et 1 avion, Mexique, 1 navire, Pays-Bas, 1 navire, URSS, 14 navires et 2 avions.

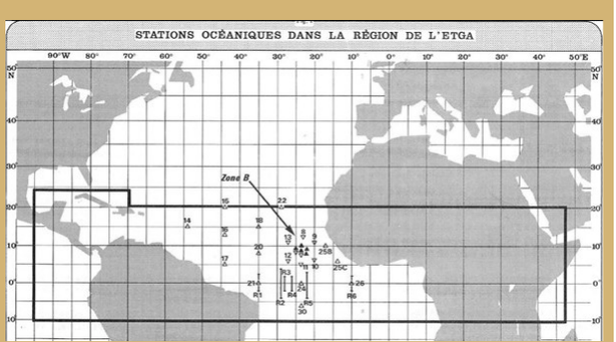


Photo 49 : Dispositif expérimental de GATE

Pendant la première période de la campagne, c'est le navire "Le Charcot" du Cnexo (Centre national d'exploitation des océans) qui embarque l'équipe météo de Magny dirigée par le tandem Albert Schaeffer-Jacques Lemieuvre (photo 50). Les radiosondages seront faits avec le système Beukers-Oméga. A. Schaeffer avait fait, quelques mois auparavant, un stage de formation chez Beukers à New-York.

Pour la seconde période, on dispose de deux navires : "La Perle" (photo 51) avec le système de radiosondage Vaisala et la présence d'un ingénieur de Vaisala, et "Le Capricorne" (photo 52), sur lequel il n'a pas été possible d'installer la station de radiosondage du Charcot et qui fera de l'océanologie et des mesures météorologiques synoptiques.

Lors de la dernière période, le navire "La Bidassoa" de la Marine Nationale (photo 53) est équipé du radiosondage Beukers utilisant aussi l'Oméga avec l'équipe Schaeffer-Lemieuvre, alors que l'équipe Dumas-Rainteau repart sur "Le Capricorne" avec le système de radiosondage Vaisala-Oméga.

Photo 51 : La Perle
(Photo prise par un membre de l'équipe scientifique à bord)

Photo 50 : Le Jean Charcot
(Photo C. Niclot)

Photo 52 : Le Capricorne (Photo C. Niclot)

Photo 53 : La Bidassoa de la Marine nationale
(Photo C. Niclot)

Tous les navires sont répartis, selon la période, de manière à constituer deux réseaux d'observations :
● un réseau à mailles lâches, dit réseau synoptique ou réseau de l'échelle A,
● un réseau à mailles serrées composé de deux hexagones concentriques situés au sud des Iles du Cap Vert, dit réseau de l'échelle B, destiné à l'étude des phénomènes d'échelle moyenne, notamment des amas nuageux convectifs appartenant ou non à la zone de convergence intertropicale (ZCIT). C'est au-dessus de cette dernière zone que vont s'effectuer la grande majorité des missions aériennes.

Les navires étaient affectés à un point donné et les mesures étaient interrompues quelques jours afin de leur permettre de rentrer au port de Dakar, ce qui permettait de procéder à la révision des équipements scientifiques et de faire des inter-comparaisons entre les instruments de même nature.

Pour les avions, les inter-comparaisons se faisaient lors des vols en formation par groupes de trois et les leaders de chaque groupe volaient ensuite ensemble. Une tour de contrôle instrumentée de 46 mètres permettait de valider les inter-comparaisons.

La conduite de l'expérience était assurée par le directeur international, Joachim Kuettner, assisté d'un état-major opérationnel, d'un conseil des représentants nationaux et des responsables des cinq sous-programmes de GATE : Météorologie synoptique Royaume-Uni, Bracknell, Rayonnement (URSS, Léningrad), Convection (Etats-Unis, NCAR Boulder), Couche Limite (Allemagne Fédérale, Hambourg) et Océanographie (France, COB de Brest). Les décisions importantes étaient prises par le conseil des représentants nationaux, présidé par le Directeur de GATE ou l'un des membres du conseil, souvent l'américain James Rasmussen. Les décisions devaient être prises à l'unanimité. Chaque jour, le conseil assisté des responsables scientifiques (Jean-Paul Goutorbe pour la France), décidait des missions aériennes à accomplir le lendemain, en fonction des avions disponibles et de la situation météorologique attendue. C'est là qu'intervenaient les prévisionnistes et les météorologistes de l'Asecna. Ces derniers avaient aussi en charge de faire les briefings aux équipages des avions de GATE.

C'est pendant cette expérience que, pour la première fois, ont été réalisés, en réseau, des sondages de vent sans utiliser de radar sur plate-forme stabilisée. Ce système nouveau, à peine opérationnel, utilisait les stations d'émission des signaux Oméga, réparties dans le monde. Les messages des radiosondages étaient transmis, en temps réel, sur le Système mondial de télécommunications (SMT) de l'OMM et les données étaient enregistrées sur bandes magnétiques 8 pistes, à raison d'une bande par radiosondage. Un programme informatique de 7 500 instructions, en langage Fortran IV, avait été

L'expérience GATE favorisa beaucoup les échanges culturels entre les équipes des différents pays impliqués. Des participants américains nous ont fait part de leur émerveillement devant la qualité des repas servis aux équipes françaises.

La NOAA des Etats-Unis et le Meteorological Office britannique utilisaient des avions gros porteurs, des C-130 Hercules, équipés pour la mesure des paramètres météorologiques et le largage de dropsondes. Les pilotes de ces avions étaient des plus compétents, y compris en acrobaties aériennes. C'est ainsi qu'un jour nos collègues américains depuis le pont de leur navire virent approcher le C-130 britannique, qui sans prévenir se retourna sur le dos au moment de les survoler ! C'était pour la Royal Air Force une façon de saluer leurs collègues, et ceux-ci en gardèrent un souvenir impérissable.

Les échanges culturels furent si intenses qu'ils provoquèrent même une désertion dans l'équipe française. Un jeune ingénieur de la Météorologie nationale s'envola sans autres formalités pour les Etats-Unis avec l'équipe américaine, au pays de sa dulcinée dont il avait fait la connaissance à Dakar. Il obtint plus tard une chaire de professeur en sciences atmosphériques à l'Université de Tallahassee.

écrit par le Dr. Donald Acheson du National Weather Service/NOAA de Washington DC. Il avait été donné aux services nationaux faisant des radiosondages utilisant les signaux Oméga. Il fonctionnait sur ordinateur, dont le Control Data (CDC) de Paris/Alma en version d'exploitation basique. Cependant, le Ceti (*Centre de traitement de l'information*) de la Météorologie Nationale avait fait développer un système d'exploitation maison, nommé "Meteos", dont les critères d'utilisation étaient différents de ceux du système d'exploitation basique de l'ordinateur CDC. Philippe Garnier a dû adapter le programme du Dr. Acheson pour les radiosondages des navires français de GATE, mais s'est rapidement heurté à l'incompatibilité des deux systèmes d'exploitation. Il a donc été invité par le Dr. Donald Acheson à venir traiter ses bandes magnétiques au NWS (*National Weather Service*) à Washington DC. Le Directeur de la Météorologie nationale a donné difficilement son accord. C'est ainsi que nos radiosondages ont été traités au NWS et les résultats sont revenus en France, et que le NWS a été le premier service météorologique à obtenir ces données.

Malheureusement, l'impréparation citée au début dans le traitement de toutes les données, qui avait été oublié par l'EERM pendant deux ans, s'est faite ressentir aussi pour les données enregistrées à bord du DC-7 (31 missions et 254 heures de vol) qui a été équipé sur le budget de l'EERM, avec une centrale à inertie moderne, quatre jours avant son départ pour Dakar. Aucun vol préparatoire n'a pu être fait et le DC-7 est parti dans ces conditions. Après l'expérience, lors du traitement des données, il a fallu rétablir souvent la trajectographie de l'avion pour que les données soient significatives, surtout lorsque le vol durait plusieurs heures. Philippe Garnier avait heureusement pris des précautions en demandant à l'observateur en vol du LOA, à celui du Lamp de

Clermont-Ferrand ou au météorologiste de bord, de noter, sur un imprimé qu'il avait créé, les valeurs lues, au pas de dix secondes, sur les écrans des enregistreurs de bord, alors que les données devaient être enregistrées au pas d'une seconde. Par ailleurs, il était prévu de larguer des Dropsondes à haute altitude par l'équipe de Jean-Pierre Maréchal. Le DC-7 n'étant pas équipé de sas de dépressurisation, les largages des dropsondes ont dû être effectués à des altitudes inférieures à 4 000 m.

Internationalement, les Etats participant à GATE s'étaient engagés à fournir à la communauté scientifique internationale toutes les données dans un délai de six mois après la fin de la campagne. Ces données devaient être envoyées aux centres des sous-programmes cités (synoptique, radiométrique, convection, couche limite et océanographique) ainsi qu'aux centres mondiaux d'Asheville (USA), Moscou et Melbourne. Ces délais n'ont pas pu être tenus. L'OMM a admis ce retard, qui ne se reproduira pas avec Alpex en 1981, lorsque le responsable Français Jöel Speich laissera carte blanche à Philippe Garnier pour le traitement de toutes les données d'Alpex. Celui-ci partagera les responsabilités avec son collègue de Magny, Charles Godon, et avec ses collègues de la Climatologie, Antoine Argoud, Marie-Geneviève Renaudin, Corinne Danvel et Arlette Gorce.

Jean Alt, dans son rapport final sur le GATE, tirait lucidement deux conclusions :
● La France n'était pas très armée pour participer à ce genre d'entreprise. Nous étions le seul pays à ne pas disposer d'un seul navire à temps complet et aucun de nos bâtiments ne possédait un équipement installé à demeure. S'y rajoutait le problème administratif de la mise à disposition et du détachement de fonctionnaires pour participer à ce type d'activité ;
● GATE a été une entreprise considérable et très coûteuse. Les données recueillies à grand frais ne doivent pas demeurer inutilisées dans des armoires d'archives.

Philippe Garnier confirme que dans les mois qui ont suivi la fin de GATE aucun chercheur ou chercheuse française ne lui a demandé de données d'observation collectées durant l'expérience. Lorsqu'il était à Dakar, au centre de calcul installé par le NWS, il était sollicité constamment par des collègues étrangers (américains, anglais, allemands, canadiens, …), alors qu'il était difficile de fournir des données brutes, donc sans contrôles. Il reconnaît cependant qu'une française, Catherine Gautier, une océanographe, venait chercher des données, mais elle travaillait à la Scripps Institution de San Diego et attendait sa naturalisation américaine. Jean Alt recommandait aussi que l'EERM dispose d'une équipe spécialisée, dédiée à ces participations aux campagnes de mesures. C'est le directeur de l'EERM, Adelin Villevieille, qui lancera le programme 4M, afin que l'établissement soit en mesure de participer dans de meilleures conditions aux campagnes de mesures nationales ou internationales.

En conclusion de GATE, les buts recherchés pour cette première expérience de grande ampleur ont néanmoins été atteints :
● recueillir pendant un temps limité une grande quantité de données dans un domaine océanique

Photo 54 : La flotte US lors de l'expérience GATE (Photo G. Testa)

presque toujours vide d'observations météorologiques et océanographiques, afin de pouvoir tester de nouveaux modèles d'analyse et de prévision pour les régions tropicales,

● étudier les interactions entre les perturbations atmosphériques d'échelles différentes et notamment préciser la structure, l'évolution et le rôle des amas nuageux convectifs qui, malgré leur étendue relativement faible et leur durée de vie souvent limitée à quelques heures, sont responsables de la plupart des pluies tropicales et sont parfois susceptibles de donner naissance à des cyclones tropicaux (cf. zone de cyclogenèse proche des îles du Cap Vert).

Cette première grande expérience qui débutait le GARP a été préparée durant deux ans. Les plans scientifiques et opérationnels avaient été élaborés à Bracknell par une équipe internationale regroupant des spécialistes de l'OMM et du CIUS. Ces plans distribués aux pays participants représentaient 14 volumes et 3 000 pages. Si le volume des données scientifiques est considérable, il en fut de même pour les nombreux reportages photographiques et cinématographiques effectués par les nations participantes dont la France (C. Niclot et G. Testa de l'équipe SPA de Magny-les-Hameaux) dont de nombreuses prises de vue ont été retenues pour le montage du film international retraçant cette expérience. Les expériences suivantes qui seront entreprises dans le cadre du GARP tiendront compte de l'expérience acquise durant GATE.

WAMEX en 1977 et 1979

Il s'agit toujours d'une campagne de mesures du GARP qui concerne particulièrement l'étude de la mousson africaine. Ses équivalents dans la zone asiatique seront les campagnes MONEX Hiver et MONEX Eté. L'EERM aura un rôle moindre que durant le GATE. Le responsable pour la France sera Georges Dhonneur, qui a fait une grande partie de sa carrière en Afrique. Le Lamp de Clermont-Ferrand (Professeur Guy Soulage) prendra à son compte toutes les mesures microphysiques faites sur le même DC-7 du CEV Brétigny (photo 55), alors que les météorologistes s'occupent des paramètres météorologiques et du largage des dropsondes, l'aéronef étant maintenant équipé pour un largage à haute altitude.

Photo 55 : L'avion Douglas DC-7 du CEV utilisé pour les mesures lors de la campagne WAMEX à Abidjan (Photo C. Niclot)

L'objectif principal est l'étude du fonctionnement interne des systèmes pluviogènes d'Afrique de l'Ouest et du proche Atlantique Tropical et de leur influence sur la circulation générale. La zone de convergence intertropicale (ZCIT) fait l'objet d'une attention particulière.

À une échelle moindre que durant l'expérience GATE, les moyens mis à la disposition de Wamex par la France en 1979 sont le navire « Le Rhin » de la Marine nationale, positionné en Atlantique tropical et où on retrouve des participants de l'EERM, et le navire Capricorne du Cnexo positionné dans le Golfe de Guinée. Les autres météorologistes français sont ceux du CAM Brétigny et l'équipe de Jean-Pierre Maréchal puis de Gabriel Abadie pour les dropsondes. On utilisera aussi des ballons plafonnant à niveau constant.

Photo 56 : Instruments de mesure Knollenberg sur le DC-7 (Photo C. Niclot)

À la demande de la direction de l'EERM, C. Niclot a effectué des prises de vues photographiques et cinématographiques à Abidjan, base du DC-7. Les séquences ont retracé les activités de la Météorologie Ivoirienne, de l'équipe météo française et des vols à bord DC-7. Des copies de ces documents ont particulièrement intéressé le Professeur Soulage.

Le satellite géostationnaire opérationnel Meteosat permettra de mieux étudier la forme des nuages et les vents en fonction du déplacement des nuages. Les données des satellites à défilement de la NOAA et la balise Argos permettront l'obtention rapide de l'état de l'atmosphère.

Photo 57 : Gabriel Abadie dans le DC-7 en vol lors de Wamex en 1977, surveillant la réception des données transmises par une Dropsonde, dont un exemplaire est posé sur le rack des instruments (Photo C. Niclot)

Le centre des opérations se trouve à Lagos (Nigéria) et les centres de traitement des données se trouvent à Oran (Algérie), Dakar (Sénégal) et Lagos (Nigeria). Le jeu complet des données sera envoyé à Bracknell (Royaume-Uni).

Un cas spécial, lors de la période du 11 au 17 mai 1979, dénommé Monsoon Surge, donnera lieu à une intensification des mesures. Les modèles numériques de prévision pour la zone WAMEX seront mis au point par les services de la Météorologie nationale. De nombreuses études sur la mousson africaine et l'étude des systèmes convectifs seront faites à partir des données de WAMEX 79.

Afin de préparer au mieux la campagne Wamex 79, une pré-campagne avait eu lieu en 1977, avec comme centre opérationnel Abidjan (Côte d'Ivoire). C'est l'équipe du Lamp de Clermont-Ferrand, dirigée par le professeur Soulage, qui est à la manœuvre pour les mesures microphysiques. L'EERM est présent avec toute l'équipe du CAM Brétigny, l'équipe de Gaby Abadie responsable du programme Dropsonde et Claude Niclot. Le DC-7C du CEV, immatriculé F-ZBCB, un des trois DC-7C AMOR (Avion de Mesure et d'Observation au Réceptacle) du CEV de Brétigny sur Orge, a déjà participé à GATE en 1974, mais il est mieux instrumenté et possède un sas de dépressurisation qui va rendre possible le largage de dropsondes à haute altitude.

La PEMG 79

L'objectif de la Première Expérience Mondiale du Garp (PEMG) est de mieux connaître les interactions océan–atmosphère, ce qui doit permettre, en particulier, d'améliorer les modèles de prévision numérique et de mieux connaître le climat de la Terre.

L'EERM va participer à ces campagnes de mesures selon deux axes : les bouées dérivantes et les mesures sur navires.

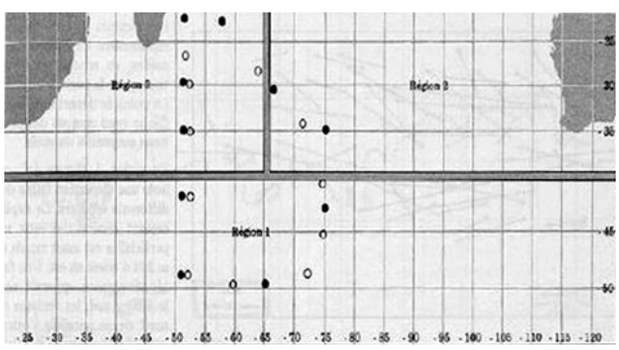
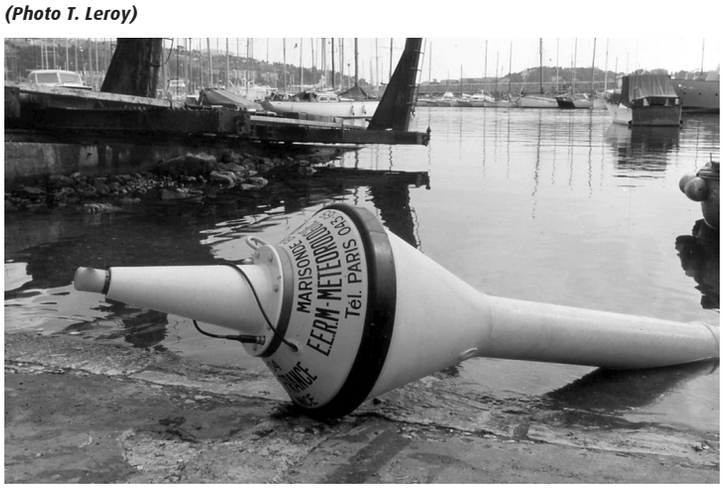


Photo 58 : Dispositif expérimental pour la PEMG en 1979

L'EERM a acquis une grande expérience dans le développement des bouées dérivantes ou fixes. Il a été décidé que l'EERM déploierait un certain nombre de bouées dérivantes dans l'Hémisphère Sud, dans l'Océan Indien sud, entre le 20e et le 65e parallèles sud. Le responsable est Jacques Beaunier. Il s'agit de mouiller des bouées Marisonde B (photo 59) ; cela sera fait par les navires des TAAF, le Marion Dufresne et le Thala Dan qui desservent nos possessions dans l'Hémisphère Sud. Ainsi, 32 bouées

Photo 59 : Une bouée Marisonde B en 1978 (Photo T. Leroy)



vont être mouillées, 22 Marisondes B entre le 14/11/1978 et le 30/11/1978 et 10 autres entre le 2/4/1979 et le 28/4/1979 entre le 20° et le 65° sud. Elles seront opérationnelles pour les deux périodes spéciales d'observations (SOP) : 5/1/1979-5/3/1979 et 1/5/1979-30/6/1979. 27 de ces 32 bouées fonctionneront pendant plus de 18 mois. Les paramètres mesurés sont la pression atmosphérique et la température de la mer en surface. Les données sont transmises, via les balises Argos, vers le Centre de Météorologie Marine (CMM) de Brest. Ce centre calculera la vitesse sur la trajectoire pendant une journée (déplacement à petite échelle) et la vitesse mensuelle (déplacement à grande échelle).

Par ailleurs, trois navires français (avec huit météos à bord de chaque navire) ont participé à la seconde phase d'observations et étaient disposés autour de l'Equateur : le Capricorne, le Coriolis du Cnexo et le Marion Dufresne des TAAF. Ils faisaient des sondages aérologiques et des mesures océanographiques (des courants marins, de la température et de la salinité de l'eau, en surface et en profondeur). Ces données ont été traitées à Brest au CMM et au COB (Centre Océanologique de Brest).

Photo 60 : Le Piper Aztec de l'EERM, équipé de l'Aquasonde et des appareils Knollenberg (Photo G. Sennequier)

PAP 81

Un groupe d'experts sur la modification artificielle du temps a été chargé par l'OMM de fournir des directives scientifiques pour tous les aspects de la modification artificielle du temps :

- le Projet d'augmentation des précipitations (PAP),
- la suppression de la grêle,
- les aspects juridiques de la déclaration de l'OMM sur « l'Etat actuel des connaissances et avantages pratiques dans certains domaines de la modification artificielle des paramètres météorologiques à laquelle il sera possible de se reporter lorsqu'on voudra se renseigner plus en détail sur l'évolution qui se produit actuellement dans des domaines connexes ».

Sur proposition de l'Espagne, la phase de sélection du site pour l'expérience PAP s'est portée, dès 1979, sur une zone de 50 000 km² située en Espagne, dans la région de Valladolid et du fleuve Duero, affectée par des sécheresses fréquentes. Il fallait vérifier si la fréquence temporelle et spatiale des nuages susceptibles de modification était suffisante pour que l'ensemencement des nuages soit scientifiquement détectable.

En septembre 1979, le comité du PAP, présidé par le Représentant permanent des Etats-Unis G. Benton, a approuvé la SSP-3 (Phase de Sélection du Site) ; les travaux commencent donc dès 1979. Les pays contributeurs sont l'Australie, le Canada, les Etats-Unis d'Amérique, la France, la Suisse, l'URSS et le pays hôte. La période proposée va de mi-février jusqu'au début mai. Il en sera de même en 1980 et 1981. Le responsable sur le terrain est l'américain Robert Cunningham.

En 1980, l'Aquasonde est présente, avec les deux avions du CAM, le Piper Aztec (photo 60) et le Cessna 206. Pour la campagne 1981, Marc Gillet est désigné comme "National Field Coordinator". Il dirigeait une importante équipe de l'EERM, avec Jean-Philippe Lafore, Michel André, Maurice Berneau, Jean-Louis Champeaux, Claude Gaillard, Hervé Lebrun, Michel Charpentier, Michel Riffiod, René Roumiguières. Marie-Pierre Le Pipec/Lefebvre et Philippe Garnier viendront faire une visite de courte durée, sans oublier les chauffeurs et ouvriers de Magny et de Trappes.

Trois avions participent à cette campagne : le Queen Air de Gabor Vali de l'Université du Wyoming (USA) et les deux aéronefs du Centre d'Aviation Météorologique de l'EERM, le Cessna 206 et le Piper Aztec. Les autres moyens en équipement sont : le radar météorologique MRL-5 (URSS) équipé d'un système de digitalisation canadien, le radar Doppler Racine de l'EERM (voir chapitre 5), le radar WSR-75 espagnol de Matacan (près de Salamanque), le réseau d'observations synoptiques de l'Instituto Nacional de Meteorologia d'Espagne (INM). Les prévisions météorologiques sont assurées par l'Espagne, ainsi que les télécommunications. Une équipe de l'IOPG (Institut et Observatoire de Physique du Globe) est également présente, avec notamment Henri Sauvageot et le radar Doppler millimétrique développé à l'observatoire de Campistrous près de Lannemezan. Le CMS de Lannion fournit, deux fois par jour, les images des satellites à défilement américains ainsi que du géostationnaire Météosat. Les radiosondages sont effectués par l'Espagne, mais 200 radiosondes Mesural sont offertes par la France. Le réseau pluviométrique est aussi assuré par l'Espagne. La Suisse se charge des études du spectre des gouttes d'eau de pluie avec un distromètre de type Joss-Walvogel. L'étude des noyaux de condensation est faite par les laboratoires français (Lamp de Clermont-Ferrand), espagnol, bulgare et australien. La photogrammétrie est traitée par l'équipe du professeur Soulage (Lamp). Toute l'intendance et la logistique de la base aérienne de Valladolid-Villanubla est assurée par les autorités espagnoles.

Durant la période allant du 11 avril au 7 mai 1981, les deux avions du CAM exécutent 22 vols en situation nuageuse et le Cessna 206 largue, sous la responsabilité de Jean-Louis Champeaux, 21 Aquasondes, qui seront toutes récupérées au sol grâce à leur système de radiogoniométrie et à un véhicule tout-terrain prêté par les russes. Le Piper Aztec embarquait deux Knollenberg (FSSP et 2D) et une Aquasonde pour mesurer les gouttelettes et les cristaux de glace avec le 2D.

En 1980, Meteosat n'était pas opérationnel. L'imagerie sera disponible en 1981 (du 15 février au 7 mai) et le CMS de Lannion a pu fournir ces données deux fois par jour au centre des opérations de Villanubla, via l'INM de Madrid. Les imageries du TIROS-N et du NOAA-6 ont été également disponibles à partir du CMS.

Le traitement des données est assuré par la Bulgarie et le Canada. Le traitement complet des 21 Aquasondes sera fait par Jean-Louis Champeaux à son retour en France.

Le budget conséquent de cette campagne PAP avait été obtenu auprès de Bruxelles et de la DGRST. Sofreavia Services en assurait la gestion, ayant accepté, pour la première fois, de ne prendre que 10% de frais de gestion, ce qui ne correspondait pas à sa pratique habituelle (25%). Philippe Garnier contrôlait de près les dépenses. C'est ainsi que l'intéressé a pu éviter de faire appel aux transitaires pour l'exportation temporaire des matériels, en remplissant lui-même les carnets ATA (Admission Temporaire/ Temporary Admission) d'exportation temporaire, sur conseil de la Chambre de commerce et d'industrie de Paris. Les 200 radiosondes furent acquises chez Mesural au prix de fin de marché, ce qui lui a valu les réprimandes de la commission des marchés de la DMN. Il s'est assuré des commodités sur place en particulier pour la réservation des voitures de location et des chambres d'hôtel. Tous les participants à PAP-81 ont reçu un même per-diem, indépendamment du grade, ce qui ne correspondait pas aux pratiques habituelles de la Météorologie nationale. Assurances individuelles et billets d'avion étaient pris très rapidement avec l'efficacité de Sofreavia. Le solde financier final fut largement positif, et la direction de l'EERM a pu en utiliser une partie pour financer des missions d'autres collègues de l'EERM, missions qui auraient été autrement impossibles.

Photo 62 : Quelques participants de l'EERM à PAP-81, devant le Cessna 206, sur l'aéroport de Villanubla près de Valladolid. On voit, de gauche à droite, Marc Gillet, Michel Riffiod, Michel André, Jean-Louis Champeaux, Maurice Berneau, Michel Charpentier, René Roumiguières (Photo communiquée par M. André)

Photo 61 : Le radar Racine de l'EERM (camion et remorque de couleurs orange) et le radar de l'IOPG (remorque blanche) à Valladolid lors de PAP-81 (Photo M. Gillet)

Alpex 82

Alpex est un des sous-programmes de la PEMG/GARP sur le thème de l'écoulement de l'air au-dessus et autour des montagnes, qui s'est tenu sur l'ensemble de l'arc Alpin. Trente-neuf nations, la plupart européennes, mais aussi les Etats-Unis, vont participer à Alpex. Le centre des opérations est basé en Suisse, près de l'aéroport de Genève-Cointrin, et 170 spécialistes vont y participer. Le Directeur international de cette expérience est toujours l'américain Joachim Kuettner, spécialiste mondial du vol à voile. La France était présente au Centre des opérations à Genève-Cointrin et à la direction du centre des opérations à Saint-Raphaël durant la SOP.

Aux réseaux d'observations météorologiques classiques, il a fallu rajouter 12 stations de mesure du vent en altitude Rawin et 60 stations micro-barométriques. Par ailleurs, la composante océanologique en Méditerranée étant du domaine de la campagne Medalpex, il a été nécessaire de créer une coordination entre les deux campagnes.

Dix navires de recherches, dont deux bâtiments océanographiques français (Le Noroît et le Corotneff) participent à cette campagne, ainsi que 17 avions de sept pays différents, dont les deux avions de l'EERM/CAM, le Cessna 206 et le Piper Aztec, basés sur l'aéroport de Saint-Raphaël. Ils feront 330 heures de vol. L'EERM installera un radar d'observation des précipitations au Mont Agel.

Cette campagne Alpex a permis une amélioration de la prévision numérique et une étude poussée sur des vents, le Mistral pour la France et la Bora pour la zone Adriatique. La connaissance des phénomènes de cyclogenèse du golfe de Gênes a progressé. La seule déception a été l'absence de conditions adaptées pour étudier l'effet de Foehn sur l'arc Alpin, du fait de l'absence de flux du sud durant la campagne. Le traitement des données s'est fait au CEPMMT (Centre européen de prévision météorologique à moyen terme) de Reading et dans les centres nationaux (pour la France, à l'EERM et Clim/Calcul à Paris, à l'EERM/4M à Magny et au Centre de météorologie spatiale de Lannion). Contrairement à ce qui s'est produit pour GATE en 1974, cette organisation inter-services a permis de fournir les données trois mois avant la date limite prévue. L'OMM a adressé une lettre de félicitations à la France.

Des périodes d'observations intensives étaient prévues, comme dans les expériences précédentes. L'une d'entre elles a eu lieu du 1/03/1982 au 20/04/1982, avec des observations augmentées sur la zone 5° W/10° E–18° N/50° N. La France a ajouté des stations de radiosondage supplémentaires, à Bourges, Toulouse et Saint Raphaël. Avec le point R, 11 stations effectuent des RS à 00 H et 12 H UTC et des RW à 00, 06, 12 et 18 H UTC.

Dans le domaine de la météorologie dynamique à petite et moyenne échelles et dans celui de la prévision à courte échéance, les études de la couche limite et des influences locales ou régionales sur la circulation atmosphérique se sont intensifiées. Une première évaluation du modèle numérique Cybèle de Daniel Rousseau et Christian Blondin a été effectuée, exploitant les données de l'expérience Alpex pour observer de manière détaillée les perturbations de l'écoulement atmosphérique provoqué par la chaîne des Alpes. On a ainsi pu reproduire avec succès la structure du champ de vent dans le sud-est de la France par une situation très perturbée. Ce modèle numérique a aidé à la planification des vols durant la campagne française d'étude de la discontinuité Est du Mistral. Pour ce faire, deux adaptations de 3 H des prévisions étaient réalisées en utilisant des conditions initiales prévues pour 30 H et 36 H, fournissant ainsi des prévisions du matin (+33 H, 9 H du matin) et de l'après-midi (+39 H, 15 H de l'après-midi) des flux de vent à échelle fine.

Photo 63 : En Antarctique, le minuscule campement « météo D10 » soumis à un épisode de blizzard durant l'été austral 1982/83. Ce vent violent et fréquent s'accompagne d'un important transport de neige et de températures glaciales (-10 à -20 °C à seulement 5 km de l'océan) ! (Photo G. Sennequier)

Les campagnes Iago en Antarctique

De toutes les campagnes de mesures météorologiques auxquelles les équipes du CRPA de Magny-les-Hameaux ont participé, celles organisées en Antarctique ont assurément été les plus lointaines et surtout les plus éprouvantes : travailler sur la calotte polaire lorsque souffle le terrible blizzard à plus de 100 km/h et par des températures de -20 à -35 °C, cela laisse des souvenirs inoubliables ! (Photo 63)

De violents « coups de zeph » imprévisibles !

Au début des années 1980, l'équipe GMI de Magny-les-Hameaux a été chargée de développer des moyens instrumentaux permettant d'effectuer des mesures au sein des vents catabatiques antarctiques, ces écoulements d'air très froid qui sous l'action de la gravité dévale les pentes du dôme de glace recouvrant le « continent blanc ».

Sur la bordure côtière de la Terre Adélie, où est installée la base polaire française Dumont d'Urville (photo 64), ces vents sont particulièrement fréquents et peuvent atteindre des vitesses stupéfiantes : souvent plus de 200 km/h ... Une rafale record à environ 320 km/h a même été mesurée en juin 1972 ! Un phénomène météo aussi puissant constitue à l'évidence un danger pour les activités humaines s'exerçant à l'extérieur de la base ! D'autant plus que ce vent peut se lever en seulement quelques minutes, se calmer aussi soudainement, recommencer à souffler en étant accompagné d'un "mur de neige". Bien que ce "blizzard" ait été observé dès 1911/1912, lors des premiers séjours de longue durée en Terre Adélie de Douglas Mawson, il avait été peu étudié par la suite, faute de moyens adaptés ; aussi, il était quasiment impossible de prévoir son déclenchement, sa durée et son intensité.

Par ailleurs, les vents catabatiques transportent de grandes quantités d'air froid et de neige vers l'océan Austral, où ils contribuent également à fragmenter la banquise, créent des zones libres de glace et refroidissent l'eau de surface. Ces phénomènes influent notablement sur la circulation atmosphérique autour de l'Antarctique et parfois même dans une bonne partie de l'hémisphère Sud.

Dans l'objectif d'approfondir les connaissances sur les vents catabatiques et d'étudier les différentes interactions entre ces vents, la glace (de l'inlandsis et de la banquise) et l'océan austral, plusieurs équipes de recherche françaises et américaines ont participé au programme IAGO (Interaction Atmosphère Glace Océan), initié par André Poggi au cours des années 1970. Il s'agissait de recueillir de nombreuses données *in situ*, permettant de développer et valider un modèle capable de simuler numériquement ces

Photo 64 : La base polaire Dumont d'Urville (DDU en abrégé) : en arrière-plan, des restes de banquise et des icebergs tabulaires se détachant du glacier de l'Astrolabe. À l'horizon, l'inlandsis qui recouvre 98% du continent : la pente est faible mais très longue et sans obstacles ; de violents vents catabatiques la dévalent fréquemment (Photo G. Sennequier)

écoulements de gravité. Le but était de pouvoir les prendre en compte de manière la plus réaliste possible dans les modèles de simulations météorologiques et climatiques.

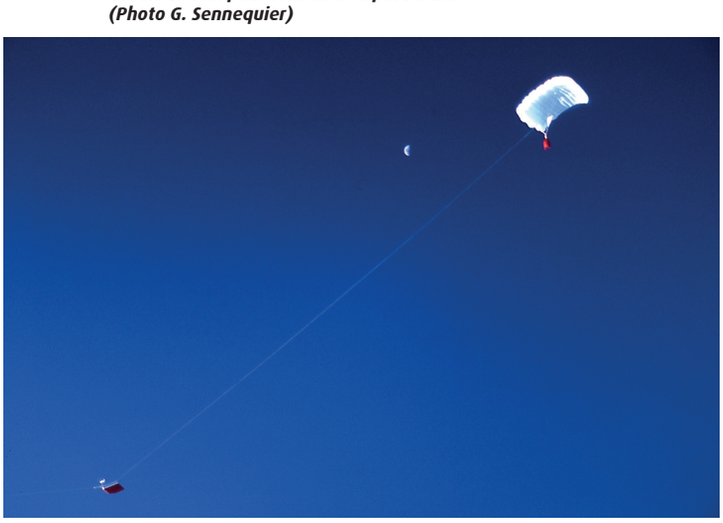
C'est pourquoi une équipe de dix ingénieurs et techniciens de l'EERM est allée en mission en Antarctique pendant deux mois, lors de l'été austral 1985/86, sous la direction de Jean-Claude André (Ingénieur général de la Météorologie et Directeur du CNRM de Toulouse). Les équipes américaines étaient dirigées par le Dr Gerd Wendler, professeur à l'Institut de Géophysique de l'Université d'Alaska à Fairbanks.

À Magny-les-Hameaux, Marcel Zéphoris et toute son équipe GMI étaient chargés de développer puis mettre en œuvre les moyens instrumentaux capables d'effectuer des mesures en conditions polaires. Très lourde tâche puisqu'il s'agissait de pouvoir mesurer les paramètres atmosphériques et radiatifs de toute la couche concernée par les vents catabatiques (plusieurs centaines de mètres de hauteur), pendant toute leur durée (des dizaines d'heures) et en plusieurs endroits différents le long de la pente de glace (jusqu'à 210 km de DDU, segment où le pourcentage de la pente s'accentue).

Pour y parvenir, les moyens de mesure habituels tels que les ballons-sondes ou les pylônes instrumentés n'étaient pas suffisants. Il fallait donc en adapter ou en développer de nouveaux : le système SAM, utilisant des avions-sondes télépilotés (photo 65), a été optimisé par l'équipe de Daniel Martin afin de pouvoir opérer par grand froid et vent faible à modéré. Et pour les épisodes de vents forts, un nouveau système de mesure appelé Parasonde (photo 66), utilisant des parachutes ascensionnels, a été développé par toute l'équipe GMI.

Photo 65 : Préparation pré-vol d'un avion télépiloté SAM-G avant un sondage météo. Le petit tube métallisé visible sur le nez de l'avion renferme les capteurs de température et d'humidité et les protège du rayonnement solaire. Des petits skis permettent de décoller/atterrir facilement sur la neige et d'effectuer des sondages à cadence élevée, à intervalles de 20 minutes environ (Photo G. Sennequier)

Photo 66 : La Parasonde au clair de lune : la voile de parachute à caissons (type parafoil) est retenue au sol par un câble sur lequel peuvent être fixées plusieurs nacelles instrumentées. Le sac rouge suspendu au-dessous est rempli de neige et sert de lest pour stabiliser le parachute (Photo G. Sennequier)



La campagne préparatoire de 1982-1983 en Terre Adélie

Après avoir conçu et soigneusement testé le matériel au CRPA (notamment en caisson à froid pour toute l'électronique), il était nécessaire de vérifier le bon fonctionnement des systèmes de mesure en conditions polaires (excepté Parasonde, encore en cours de développement en France). Il s'agissait également d'appréhender les difficultés pouvant se présenter lors de la future campagne de mesures. C'est pourquoi deux techniciens météo de Magny ont participé à la 33e campagne d'été en Terre Adélie, du 24 décembre 1982 au 1er février 1983. Installés dans un minuscule campement sur la calotte polaire à 10 km de la base Dumont d'Urville et assistés par deux techniciens des Expéditions Polaires Françaises, ils ont procédé à de nombreux essais technologiques sur les différents systèmes instrumentaux. Ces expérimentations ont démontré un bon fonctionnement général, même si les "petits ennuis techniques" n'ont pas manqué... mais cela a permis d'optimiser le matériel par la suite !

De nombreux sondages effectués par ballons-sondes (jusqu'à 20 à 30 km d'altitude) ainsi qu'avec les avions SAM (permettant d'analyser finement les basses-couches jusqu'à 1 000/2 000 m) ont permis d'apprécier les limites d'utilisation de ces deux systèmes : au-delà d'un vent au sol de 10 à 12 m/s, le lancer des ballons et l'atterrissage des SAM étaient sportifs ! (photo 67).

Photo 67 : Lâcher d'un ballon-sonde emportant une radiosonde (boîte blanche) et suivi au théodolite pour mesurer la vitesse et la direction du vent. En direction du pôle Sud, un immense désert blanc s'étend à perte de vue ! (Photo D. Cheymol)

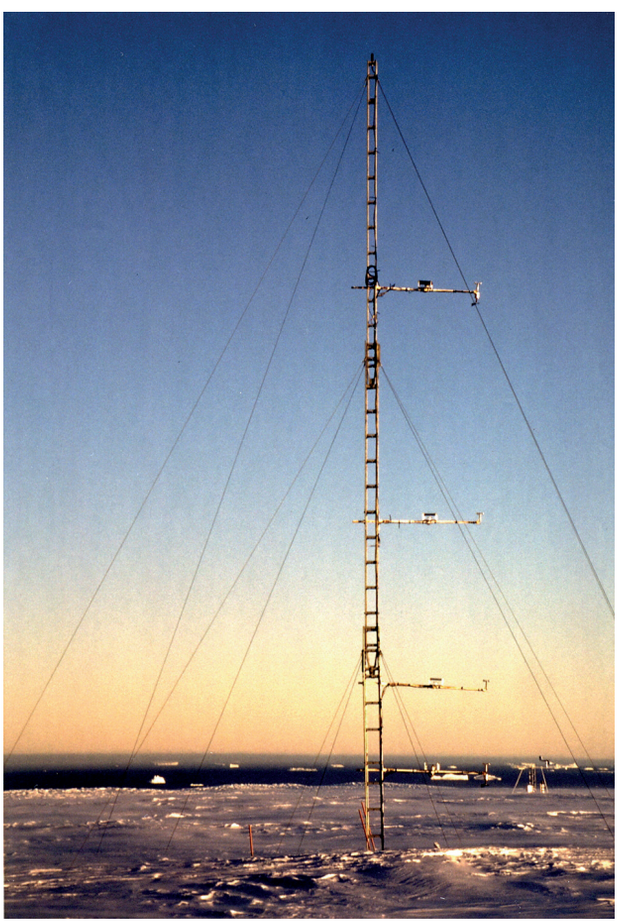


Photo 68 : Avion-sonde SAM-G au retour d'un sondage météo, sur fond d'icebergs tabulaires se déplaçant lentement sur l'océan. Les SAM ont permis de réaliser 60 sondages, notamment pendant toute la durée d'un épisode d'écoulement de gravité de faible vitesse : l'écoulement d'air très froid en très basses couches s'accompagnait alors d'un phénomène de « miroitement », analogue à celui qui se produit dans le désert... mais avec de l'air surchauffé ! (Photo D. Cheymol)

Certains des radiosondages par ballon ont été effectués, en simultané, avec une équipe de scientifiques américains partis en raid afin d'assurer la maintenance des stations météo automatiques AWS (Automatic Weather Station - photo 69) et d'en installer une nouvelle. Plusieurs de ces stations étaient édifiées le long de l'axe "DDU-Dôme C" à 10 km, 110 km, 210 km, 440 km et 1 100 km de DDU.

Au cours de ce raid, les américains ont testé deux nouveaux systèmes de mesure : un mini-parafoil emportant une radio-sonde type "airsonde" et des fusées fumigènes filmées par une caméra ultra-rapide, afin d'estimer le profil de vitesse du vent.

Enfin, des "mâts Iago" du LGGE (Photo 70), installés au cours de l'été austral 1980/81, fournissaient des mesures météo en continu à quatre niveaux entre environ 1,25 m et 20 m de hauteur/neige. Ces pylônes équipés de perches instrumentées étaient installés à 10, 17, 24 et 33 km de DDU. L'équipe météo à D10 avait, entre autres, pour tâche de relever les hauteurs de la neige s'accumulant au pied du mât ou s'érodant sous l'effet du vent.

Photo 69 : Station météo automatique américaine AWS. Noter la surface de la neige sculptée par le vent, ce qui forme des « sastrugi » (Photo G. Sennequier)

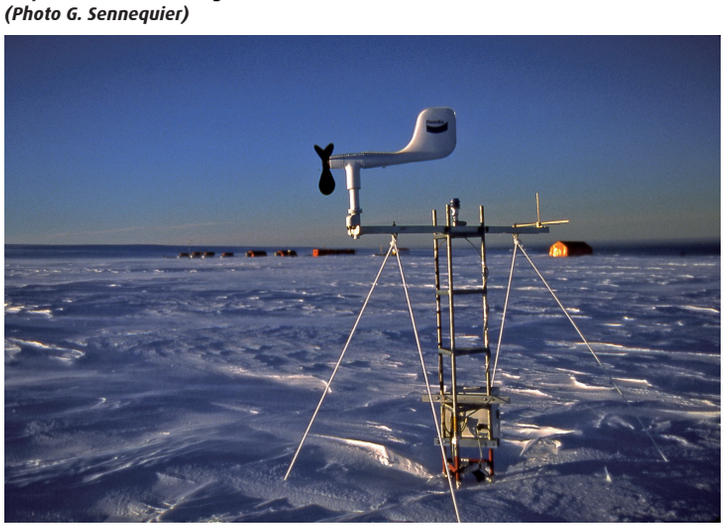


Photo 70 : Mât Iago à D10, sérieusement haubané pour résister au vent (Photo G. Sennequier)

La campagne de mesures "Iago-catabatique" 1985-1986

À l'automne 1985, après trois années de préparation, tout était prêt pour aller affronter le vent catabatique. Après un long voyage en avion passant par l'Australie, la Nouvelle-Zélande et la base antarctique américaine McMurdo, l'équipe Iago et une partie du matériel arrivaient en Terre Adélie entre le 5 et le 7 novembre 1985. Ensuite, grâce à l'assistance logistique du personnel des Expéditions Polaires Françaises, les "scientifiques" furent transportés dans des véhicules à chenille et déployés sur trois sites de mesure le long du toboggan glacé que constitue l'inlandsis : les français aux sites haut et bas (D57 à 210 km et D10 à 10 km de DDU) et les américains au site intermédiaire (D47 à 110 km). Le 22 novembre, après plusieurs jours d'installation des campements et de préparation du matériel, les trois sites étaient enfin opérationnels : la campagne Iago-catabatique pouvait débuter... et le vent était prié de souffler !

Résultats de la campagne

Entre le 22 novembre et le 23 décembre 1985, douze situations de vent fort ont été documentées sur des périodes allant de 4 à 6 h, jusqu'à près de 48 h. Huit situations typiquement catabatiques ont fait l'objet d'analyses détaillées.

Au total, sur les 3 sites, 103 radiosondages et 94 "parasondages" ont été effectués, ainsi que 14 sondages SAM et 80 sondages pilot. Deux vols Dôme C-DDU de l'avion LC-130 instrumenté ont complété ces sondages. Toutes ces données ainsi que les mesures effectuées à faible altitude ont été analysées au cours des années suivantes. Elles ont permis d'optimiser les modèles de simulation numérique des écoulements de gravité et du climat, ce qui a donné matière à de nombreuses publications scientifiques (André et al., 1991).

De plus, l'équipe située à D10 a eu la chance inespérée d'observer, et documenter, à deux reprises, un phénomène de saut hydraulique (phénomène de Loewe). Les mesures au sol ont permis d'approfondir la connaissance de ce phénomène impressionnant : en plein épisode de fort vent catabatique, le vent s'est brusquement calmé et le mur de neige soufflée par le vent s'est éloigné vers l'amont... puis est revenu, accompagné d'un vent violent.

L'objectif d'améliorer la prévision du déclenchement des vents catabatiques s'est révélé difficile à atteindre. Toutefois, une méthode de prévision des vents catabatiques forts en Terre Adélie a pu être élaborée par Paul Pettré (CNRM/Toulouse), en utilisant les données de la station météo de Dumont d'Urville et de deux stations météo automatiques installées sur le continent Antarctique.

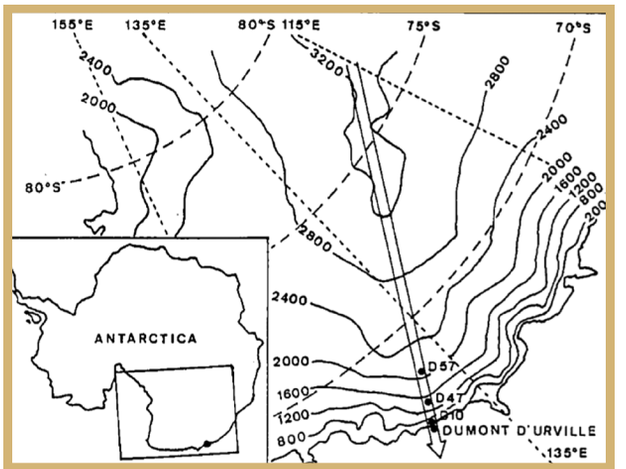


Photo 71 : Carte de l'Antarctique avec zoom sur la zone des mesures (Dessin EERM/PAD)

Un dispositif très complet permettait d'effectuer des mesures à différents niveaux au-dessus de la surface de l'inlandsis :
● à faible hauteur (entre 1,25 m et 20 m): les quatre mâts Iago mesurant en continu les valeurs de température, humidité, vent et pression atmosphérique, complétés par les 5 stations météo automatiques américaines AWS mesurant ces même paramètres à environ 3 m de hauteur ; les mesures météorologiques opérationnelles effectuées en permanence par la station météo de la base Dumont d'Urville s'y ajoutaient ;
● entre le sol et environ 1 250 m de hauteur, aux sites haut et bas : le système PARASONDE permettant d'effectuer des mesures de pression, température, humidité, vent, flux radiatif montant et descendant à différents niveaux pendant toute la durée d'un épisode de vent catabatique ;
● entre le sol et 1 000/2 000 m de hauteur, au site bas uniquement, le système SAM + ballons-pilots (mesurant la vitesse et la direction du vent), permettant d'effectuer des profils verticaux de température et d'humidité lorsque le vent n'était pas assez fort pour utiliser Parasonde ;
● jusqu'à haute altitude (15 à 30 km) : les radiosondages par ballons-sondes effectués à partir des sites haut, intermédiaire (US) et de Dumont d'Urville à heures régulières (00 H et 12 H UTC), permettant d'analyser la structure verticale de l'atmosphère et d'affiner la connaissance de la situation météo synoptique (à grande échelle) ;
● en complément, un avion Hercules LC-130, équipé d'instruments de mesure et mis en œuvre par la NSF américaine, pouvant occasionnellement effectuer des « coupes » à différents niveaux entre Dôme C et Dumont d'Urville (uniquement par situation météo intéressante et favorable à d'aussi longs vols) ; et enfin, des fusées fumigènes américaines pouvant mesurer le profil de vent au site intermédiaire.

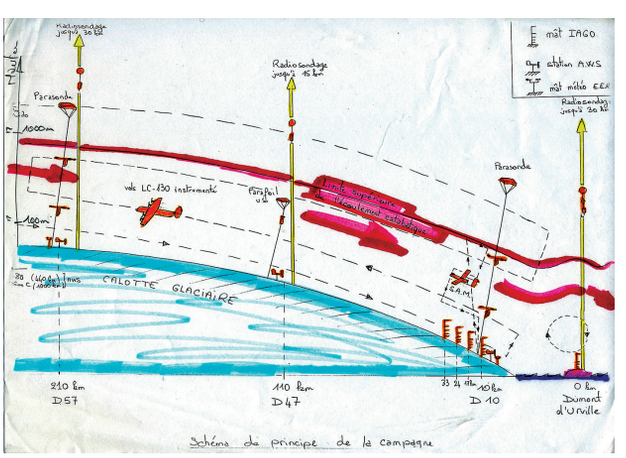


Photo 72 : Schéma de principe de la campagne Iago-catabatique (Dessin G. Sennequier)

Photo 73 : Paré au parasondage !
La nacelle, munie de tous ses capteurs, est fixée sur le câble en kevlar reliant le parafoil au sol. Un puissant treuil permet de dévider ou rembobiner le câble, donc de laisser monter ou faire redescendre le système de mesure
(Photo G. Sennequier)

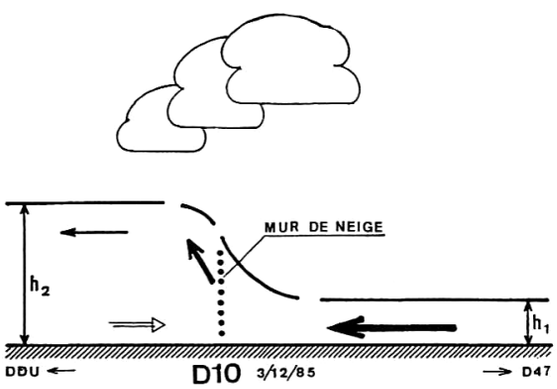


Photo 74 : Schéma de principe du phénomène de Loewe observé à D10. Sur la photo, prise en plein blizzard, la bande de nuages visibles au-dessus de l'horizon matérialise l'emplacement du « saut hydraulique »
(Dessin EERM/PAD, photo G. Sennequier)

Le 2 janvier 1986, la phase "terrain" du programme Iago-catabatique était terminée : un vol de LC-130 ramenait tous les participants à la base McMurdo : tous indemnes, seulement plus bronzés et barbus qu'à l'aller... et l'esprit empli des images impérissables de cette mission exceptionnelle !

Les organismes suivants ont participé à la campagne : l'Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques (EERM), avec le Centre National de Recherches Météorologiques et le Centre de Recherches en Physique de l'Atmosphère, les Expéditions Polaires Françaises (EPF), l'Institut de Géophysique de l'Université d'Alaska (IGUA), le Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (LGGE), le Département de Météorologie de l'Université du Wisconsin, le Département des Sciences Atmosphériques de l'Université d'Etat d'Oregon, l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU), la National Science Foundation (NSF), les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF).

Photo 75 : Les participants à la campagne Iago 1985/86 de retour à la station américaine McMurdo (Photo communiquée par M. Zéphoris).
Accroupis au premier plan, de gauche à droite et parmi d'autres participants des EPF :
Gabriel Abadie (CRPA), Daniel Martin (CRPA), Denis Cheymol (CRPA), Yuji Kodama (IGUA)
Debout en seconde ligne :
Didier Simon (EPF), Nobuyoshi Ishikawa (IGUA), Gabriel Duverneuil (CRPA), Jean-Claude André (CNRM), Michel Dumerchat (EPF), Christian Abonnel (CRPA), Marcel Zéphoris (CRPA), Michel Pourchet (LGGE)
Debout en troisième ligne : Guy Lachaud (CNRM), Rémi Caillou (CAM), Robert Flint (IGUA), Guy Sennequier (CRPA), Gerd Wendler (IGUA)

Références

Abonnel, C., N. Cénac, D. Cheymol, G. Duverneuil et M. Zéphoris, 1985 : pH et analyse fine des précipitations. Note Technique l'EERM n°127, Direction de la Météorologie.

André, J.C., P. Pettré et M. Zephoris, 1991 : Ecoulement catabatique en zone côtière antarctique, Note n°4 du Groupe de Météorologie de Grande Echelle et Climat, Météo-France, Janvier 1991.

Bessemoulin, J. et R.Clausse, 1957: Vents, nuages, tempêtes. Plon, 1957.

Cénac, N., M. Zéphoris et C. Abonnel, 1987 : Mise au point d'un collecteur de gouttelettes de brouillard. Note Technique de l'EERM n°181, Direction de la Météorologie.

Cénac, N., M. Zéphoris et C. Thibord, 1998 : Influence de l'origine des masses d'air sur la composition chimique des précipitations en France. 11 ème Congrès Mondial sur l'Air Pur, Durban, Afrique du Sud, 13 Septembre 1998.

Chalon, J.P., 1978 : Dynamique des nuages convectifs : Influence du cisaillement de vent sur l'évolution des cumulonimbus. La Météorologie, VIème série, n° 13, juin 1978, 17-28.

Chalon, J.P., M. Anne, J.L. Champeaux, R. Delaitre, G. Despaux, X. Henrion, A. Masson, R. Roumiguières, H. Sauvageot, G. Sennequier, 1979 : Etude de la physique des précipitations dans les nuages chauds : campagne Aquasonde (Captieux 1978). Note technique de l'EERM n°22 nouvelle série. Direction de la Météorologie.

Chalon, J.P., 1980 : La grêle, formation et prévention : les expériences étrangères, le NHRE. Revue de l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture - Suppl. au n° 662-663, août-sept 1980, 17-19.

Chalon, J.P., A. Van Thournout et J.L. Champeaux, 1980 : Mesures microphysiques des nuages chauds. Actes de la 8ème Conférence Internationale sur la Physique des Nuages, IAMAP/ICCP, 133-136.

Chalon, J.P et M. Gillet, 1980 : Structure à moyenne échelle d'un front froid. Actes de la 8ème Conférence Internationale sur la Physique des Nuages, IAMAP/ICCP, 599-602.

Champeaux, J.L. et V. Klaus, 1981 : Etude des effets de bord et de coïncidence sur le spectre dimensionnel de gouttes mesuré par l'Aquasonde, Note technique de l'EERM n° 103 nouvelle série, avril 1981, Direction de la Météorologie.

Champeaux, J.L., 1984 : Rapport final Aquasonde. Note technique de l'EERM n° 109 nouvelle série, Direction de la Météorologie.

Clausse, R. et L. Facy, 1959 : Les Nuages, Editions du Seuil.

Estival, A., 1981 : Comparaison de trois estimateurs de la fréquence centrale du signal Doppler. Note technique de l'EERM n°8 Nouvelle série, Direction de la Météorologie.

Facy, L., 1951 : Eclatement des lames minces et noyaux de condensation. J. Sc. Mét., 3, 86.

Facy, L., 1957 : Sur le déplacement des aérosols dans un gradient de tension de vapeur. Met. Soc. Japan, 75th Anniv. Vol., p.15.

Froment, G., 1979 : L'expérience HYDROMEL. Rapport technique final, Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques, 77 rue de Sèvres, 92 Boulogne.

Gaillard, C, 1983 : Diffusion des images radar et satellite. La Houille Blanche, 5-6, 381-385.

Gayet J.F. et J.L. Champeaux, 1979 : Comparaison des résultats de l'Aquasonde et des appareils de Knollenberg pour la mesure du spectre dimensionnel des gouttes de nuages. Note technique EERM N°33, Direction de la Météorologie.

Gillet, M., P. Amat, P. Amayenc, B. Campistron, J.P. Chalon, P. Le Berre, C. Pastre, J. Testud, P. Waldteufel, 1978 : Campagne de mesures « FRONTS 77 ». Compte rendu des opérations. Note technique EERM n° 407. Direction de la Météorologie.

Gillet, M., Y. Thouvenin et C. Lafaysse, 1978 : Anatomie à moyenne échelle d'un front froid ondulant. La Météorologie, VIème Série, n°15, 69-90.

Gillet, M., J.Olivieri et C.Gaillard, 1980 : La chaîne d'acquisition radar Saphyr. La Météorologie, VIème série, n°23, 25-32.

Gillet, M. et M. Ciccione, 1983 : Le projet Aramis et la prévision à courte échéance, La Houille Blanche, N°5/6, 1983.

Gillet, M., 1984 : Un système intégral pour la prévision immédiate : ARAMIS. La Météorologie, 7ème série, n°4, octobre 1984, 25-34.

Gillet, M., 1985 : Le réseau français de radars météorologiques. Third WMO Conf. On Instruments and methods of observation (TECIMO-III), Ottawa, Canada, 8-12 July 1985, WMO/TD N°50, 175-180.

Gillet, M., 2016 : La météorologie radar à l'observatoire de Magny-les-Hameaux et les débuts du projet ARAMIS. Arc en Ciel, Association des Anciens de la Météorologie, N°181, 13-17.

Klaus, V. et J.L. Champeaux, 1977 : L'Aquasonde, La Météorologie, VIème série, N°10, pp. 61-75.

Lambergeon, D., 2019 : Quelques premiers souvenirs professionnels, Arc en Ciel, Association des Anciens de la Météorologie, N°188, 28-30.

Le Moullec, A. et A. Mezdour, 2011 : La qualité des eaux de pluie : acidité en baisse mais pas de progrès pour les dépôts d'azote, Le Point Sur, n° 88, Juin 2011, Commissariat Général du Développement Durable.

Lhermitte, R., 1957 : Utilisation des radars centimétriques pour l'interprétation des échos de pluie apparaissant sur leurs écrans. Arc en Ciel, Association des Anciens de la Météorologie, n°8, 1-7.

Lhermitte, R., 1959 : La représentation directe du spectre de fluctuation des échos radars donnés par des précipitations, Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, t. 248, 1959, p. 1554-1556.

Morisset, J., 1979 : Dirigeables : vers des formules nouvelles, Air et Cosmos, n° 761 du 14 avril 1979, 20-21.

Perlat, A. et M. Petit : Mesures en météorologie, Gauthier Villars, Monographies de météorologie, 1961.

Picquenard, J.P : Histoires du Centre de recherches de Magny-les-Hameaux, document disponible auprès des auteurs de cet article.

Pontikis, C. et A. Rigaud, 1981 : Campagne de mesure du nuage chaud en Guadeloupe (février 1981). Note de travail de l'EERM, n°4, août 1981, Direction de la Météorologie.

Pontikis, C., 1981 : Modèle monodimensionnel de nuage chaud. Note technique n°12 Nouvelle série de l'EERM, Direction de la Météorologie.

Pontikis, C., A. Rigaud et E. Hicks, 1987: Entrainment and Mixing as Related to the Microphysical Properties of Shallow Warm Cumulus Clouds, Journal of the Atmospheric Sciences 44(15).

Rigaud, A., 1979. Inhibition des brouillards d'évaporation-Implantation à Boves. Note technique n°17 Nouvelle série de l'EERM, Direction de la Météorologie.

Rigaud, A. et C. Niclot, 1981. Utilisation de la méthode photogrammétrique dans l'observation du nuage chaud. Note technique n°7 de l'EERM, Direction de la météorologie.

Roulleau, J. et R. Trochon, 1952 : Météorologie générale, Tome 1 : Structure verticale de l'atmosphère, l'atmosphère et les phénomènes de rayonnement, Gauthier-Villars, Paris, 149p.

Roulleau, J. et R. Trochon, 1958 : Météorologie générale, Tome 2 : Stabilité verticale de l'atmosphère, Gauthier-Villars, Paris, 178p.

Roux, F., J. Testud, B. Pinty et J.P. Chalon, 1982: Dual Doppler radar and surface network observations of a west African squall line during the COPT81 experiment. Preprints Conference on Cloud Physics. AMS, Chicago, nov. 1982, 547-550.

du Vachat, R., et M. Petit, 1974 : Capteurs à fils fins et temps de réponse. La Météorologie, Vème série, 49-71.

Viaut, A., 1964 : Bilan des travaux de la Météorologie française, juillet 1945-juillet 1964, document Météorologie nationale.

Wakimoto, M. et R. Srivastava, 2003: Radar and Atmospheric Science – A Collection of Essays in Honor of David Atlas, Meteorological Monographs Series, 30, N°52, American Meteorological Society, ISBN 1-878220-57-8, 270pp.

Zéphoris, M. et al., 1984 : Pluies acides en France, Pollution Atmosphérique, Juillet-septembre 1984, 159 - 165.

Zéphoris, M. et al., 1985 : La surveillance des retombées atmosphériques humides en France, Fondements scientifiques de la surveillance de l'environnement. Rapport du premier symposium franco-soviétique, Moscou, URSS, 16-21 septembre 1984, Léningrad Gidrometeoizdat, 1985, 48-62.

Zéphoris, M., R. Rosset et M. Mirabel, 1989 : Oxydation du SO_2 dans les nuages au-dessus de l'Europe de l'Ouest. Rapport au Ministère de l'Environnement, contrat n°87333.

Acronymes

4M Moyens mobiles de mesures météorologiques
AFCRL Airforce Cambridge Research Laboratory
ALPEX ALPes EXperiment
ASECNA Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar
AUCMH Association des Usagers de la Cantine de Magny-les-Hameaux
AWS Automatic Weather Station
BAPMoN Background Air Pollution Monitoring Network (réseau OMM)
BRAN Bouées Réseau en Atlantique Nord
CAM Centre d'Aviation Météorologique de l'EERM, situé alors à Brétigny sur Orge
CDC Control Data Corporation
CDM Centre Départemental de Météorologie
CEA Commissariat à l'énergie atomique
CEL Centre d'Essais des Landes
CEP Centre d'Essais du Pacifique
CEPMMT Centre européen de prévision météorologique à moyen terme
CERAM Centre d'Etudes et de Recherche sur l'Atmosphère et la Météorologie
CETI Centre de traitement de l'Information de la Météorologie nationale
CEV Centre d'Essais en Vol à Brétigny sur Orge
CIUS Conseil international des unions scientifiques
CMM Centre de Météorologie Marine de Météo-France, situé à Brest
CMS Centre de Météorologie Spatiale à Lannion
CNES Centre national d'études spatiales
CNET Centre national d'étude des télécommunications
CNEXO Centre national d'exploitation des océans (actuellement IFREMER)
CNRS Centre National de la Recherche Scientifique
COB Centre Océanologique de Brest
COTAL radar de COnduite de Tir de l'Artillerie Lourde
CREI Centre de Recherches Expérimentales et Instrumentales
CRPA Centre de recherches en physique de l'atmosphère
CRPE Centre de recherches en physique de l'environnement terrestre et planétaire
CTM Centre technique et du matériel situé à Trappes
CUAG Centre Universitaire Antilles-Guyane
DDU Dumont Durville
DDU Direction générale de l'armement
DGRST Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique
DIAL DIfferential Absorption Lidar
DME Direction des Moyens d'Essais de la DGA
DMN Direction de la Météorologie Nationale
DRME Direction des recherches et moyens d'essais
EAL Etudes en Atmosphère Libre
EERM Etablissement d'études et de recherches météorologiques
ENM Ecole Nationale de la Météorologie
EPF Expéditions Polaires Françaises
ETGA Expérience Tropicale du GARP (GATE en anglais)
EXAMETNET Experimental Inter-American Meteorological Rocket Network
GARP Global Atmosphere Research Program de l'OMM
GATE GArp Tropical Experiment (ETGA en français)
GAW Global Atmosphere Watch (VAG en français)
GMA Groupe de météorologie appliquée, dirigé par Michel Rochas et situé à Magny
GMD Groupe de météorologie dynamique, dirigé par Daniel Rousseau et situé à Paris
GMI Groupe de météorologie instrumentale, dirigé par Bernard Loitière et situé à Magny
GMP Groupe de météorologie prospective, dirigé par Claude Pastre et situé à Magny
GOCC Gate Operational Control Center
GOES Geostationnary Operational Environmental Satellite
IAGO Interaction Atmosphère Glace Océan
IASB Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique
IGUA Institut de Géophysique de l'Université d'Alaska
INAG Institut National d'Astronomie et de Géophysique
INM Instituto Nacional de Meteorologia (Espagne)
INO Inhibition des échanges océan-atmosphère
IOPG Institut et Observatoire de Physique du Globe
ISTPM Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, intégré plus tard à l'IFREMER
LAMP Laboratoire Associé de Météorologie Physique situé à Clermont-Ferrand
LCT Laboratoire Central de Télécommunications
LGGE Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement
LIMA Laboratoire d'Instrumentation et de Météorologies Appliquée
LMD Laboratoire de Météorologie Dynamique
LOA Laboratoire d'Optique Atmosphérique
LSCE Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

MN Météorologie Nationale

NCAR National Center for Atmospheric Research (Etats-Unis)

NCDC National Climatic Data Center

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (Etats-Unis)

NSF National Science Foundation

NSSL National Severe Storms Laboratory

OEM Original Equipment Manufacturer

OMM Organisation météorologique mondiale (WMO en anglais)

ONERA Office national d'études et de recherches aérospatiales

ORSTOM Office de recherche scientifique des territoires d'outre-mer (devenu plus tard l'IRD)

PAD Photo, Audio, Diffusion

PAP Projet d'Augmentation des Précipitations (PEP en anglais, PIP en espagnol)

PEMG Première expérience mondiale du GARP (FGGE en anglais)

RACINE RAdar CINEmométrique développé à Magny-les-Hameaux

RAMO RAdar MObile

RONSARD Recherches sur les orages et les nuages à l'aide d'un système associant des radars Doppler (Système de deux radars Doppler dans la bande C)

SAM Sondes Aérologiques Motorisées

SARAH Satellite RadAdar pour l'Hydrologie

SCPRI Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants

SETIM Service des Equipements et des Techniques Instrumentales (anciennement CTM)

SHC Service Hydrologique Centralisateur

SMM Service Météorologique Métropolitain de la MN

SMT Système mondial de télécommunication de l'OMM (GTS en anglais)

SOP Special observation period pendant la PEMG

SPA Simulation Physique de l'Atmosphère

SPEA Simulation Physique des Ecoulements de l'Atmosphère

TAAF Terres Australes et Antarctiques Françaises

TBC Turbulence Basses Couches

VAG Veille Atmosphérique Globale (GAW en anglais)

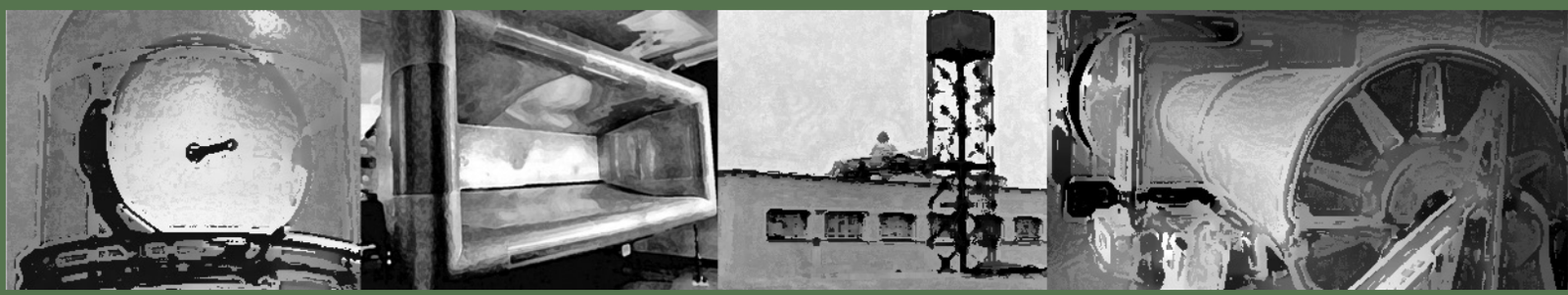
WAMEX West African Monsoon EXperiment

WPL Wave Propagation Laboratory

ZCIT Zone de convergence intertropicale (ITCZ en anglais)

Liste nominative
des anciens de l'observatoire Magny-les-Hameaux

Gabriel ABADIE ; Christian ABONNEL ; André AMAT ; Marielle AMODEI ; Michel ANDRE ; M. ANGLADA ; Guy ARMAND ; Henri AUGUSTIN ; Mme AUREAU ; André BADAIRE ; Claude BAHLOUL ; M. BALLAY ; Guy BALLY ; Georges-Dominique BARBÉ ; Michel BEAUREPAIRE ; Bernard BERINGUER ; Christine BERNE ; Pierre BESSEMOULIN ; Claude BESSON ; Roger BEVING ; Michèle BEYNEIX ; Georges BEYNEIX ; Paul BISSONIER ; Lionel BLANCHANDIN ; Mme BALZANO ; Jacques BONDON ; José BONNET ; Francis BORREL ; Michel BOUCHEREAU ; Jean-Claude BOULAY ; M. BOULY ; Jean-Louis BRENGUIER ; Charles BROSSON ; Christiane BRUN ; Raymond BULTEZ ; Alain BURBAN ; Alain BUTET ; Maurice CAILLEAU ; Rémi CAILLOU ; M. CAMOU ; M. CAMPOS ; M. CANADASS ; Fred CARVALHO ; M. CASSOU ; Philippe CASTET ; François CAYLA ; M. CAZAUBON ; NadineCENAC ;M.CHADOURNE ;Jean-PierreCHALON ;DominiqueCHAMPEAUX ;Jean-LouisCHAMPEAUX ; GuyCHANTRENNE ; Michel CHARPENTIER ; Evelyne de CHAZEAUX ; Bernard CHER ; Guy CHEREL ; Denis CHEYMOL ; Monique CICCIONE ; Gérard COCHER ; M. COMPOS ; Roger DARCEL ; Jacques DECREUX ; Danièle DELAUNAY ; Claude DELELEE DESLOGES ; Laeticia DEVALEUILLE ; Mme DOREANI ; Jean DORIN ; M. DRUILLET ; Gabriel DUCROS ; Paul DUMAS ; Charles DUPUY ; Gabriel DUVERNEUIL ; Jacques ECORMIER ; Soizic EIDELIMAN ; Marcel ESCUR ; Michel ESTEOULE ; Léopold FACY ; M. FOROPON ; Anne FOURNIER ; M. FLECHET ; M. FOQUET ; M. FOUCRAS ; Alain FRAPPIER ; Francis FROISSARD ; Guy FROMENT ; Gilberte FROMENT ; Mme FRONTINI ; François FUSEY ; Jacqueline GAGNEUX ; Claude GAILLARD ; Patrick GALVAN ; Alain GANDER ; Claude GARAGATY ; M. GARMENDIAZ ; Philippe GARNIER ; Jean-Louis GAUMET ; M. GEDEBAR ; M. GENEVE ; Claude GERBIER ; Marc GILLET ; Emmanuel GIZARD ; Charles GODON ; Lucienne GORNEAU ; Hubert GORVAN ; Jean Paul GOUTORBE ; Louis GUIRAUD ; Claude GUY ; Monique HARRANG ; Claude HARRANG ; Jean HEISSAT ; M. HERVE ; Elisabeth HICKS ; Robert ICHER ; Geneviève JAUBERT ; Marie-Rose JOLY ; Michel JOLYS ; Régis JUVANON DU VACHAT ; Fernand KARCHER ; Vladislav KLAUS ; Aurélien KOUAKOU ; Jean LABROUSSE ; Georges LACHAUD ; Guy LACHAUD ; Christian LAFAYNE ; Denis LAMBERGEON ; Guy LARROUCAU ; André LAUCHER ; M. LAUMONNIER ; Daniel LAVENU ; Pierre LE BERRE ; Andrée LE TROCQUER ; M. LEBUNETEL ; Robert LECOINTRE ; M. LEGENDRE ; M. LELAY ; Marie LELIEVRE ; Marc LELIEVRE ; Alain LELIEVRE ; Christian LEMAIRE ; Jacques LEMIEUVRE ; M. LEPROVOST ; Philippe LHERMENIER ; Roger LHERMITTE ; M. LHOPITALIER ; René LOISEAUX ; Bernard LOITIERE ; Yvon LOUIS ; M. LOURY ; M. MAILLACH ; Jean-Pierre MARECHAL ; Daniel MARTIN ; Charles MERCUSOT ; Jean-Paul MEYER ; Philippe NACASS ; Claude NICLOT ; Michèle NICLOT ; Jean-Pierre OLIVER ; Suzette ORIGONI ; Rémy PAILLISSE ; Thierry PERRIN ; M. PASSAK ; Claude PASTRE ; Alain PAULI ; Marc PAYEN ; Antonio PELLEGRINI ; Didier PERRET ; Michel PERRIER ; Thierry PERRIN ; Christian PERRIN DE BRICHAMBAUT ; Marcel PETIT ; Alain PETITPA ; André PETITPA ; Paul PETTRE ; Robert PEYTAVI ; Daniel PIAT ; Georges PIAT ; Jean PIAT ; Chantal PICQUENARD ; Jean-Pierre PICQUENARD ; Vincent PIRCHER ; Constantin PONTIKIS ; M. PORTE ; M. PUISEUX ; Pierre RAINTEAU ; Christian REBOTIER ; Michel REGNAULT ; Didier RENAUT ; Arlette RIGAUD ; Joël RIONDET ; M. ROBUCHON ; Joseph ROULLEAU ; Maud ROULLEAU ; Jean-Pierre ROUX ; Joseph SAISSAC ; Yvon SALINOC ; Philippe SALOMON ; Jean-Luc SANSON ; Henri SAUVAGEOT ; Albert SCHAEFFER ; Ira SELOYAN ; André SEMADONI ; Guy SENNEQUIER ; Michel SEVEQUE ; Jean TARDIEU ; Gilles TESTA ; André THERON ; Odile THERY ; Jean-Jacques THERY ; M. THERRY ; M. THIBERVILLE ; Yves THOUVENIN ; Quoc Phong TRAN ; M. TRANOY ; Dominique TREVARIN ; Michel TROCHU ; Marius TRONGCO ; Mme TRONGCO ; Patrick VAN GRUNDERBEECK ; M. VAVASSEUR ; André VERVELLE ; Jacky VILLAIN ; Adelin VILLEVIEILLE ; Claire VILLIEN ; Jean WAGNER ; Marcel ZEPHORIS.



http : // www.anciensmeteos.info

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Présidents d'honneur
Jean-Jacques Vichery : 03 20 32 89 81
Pierre Chaillot : 01 83 45 93 89
Jean-Louis Plazy : 06 61 54 12 47

BUREAU DE L'AAM

Présidente
Christine Dreveton : 07 88 25 85 14

Vice-Présidents
Jean-Pierre Chalon : 06 03 51 76 33
Jean Tardieu : 01 46 31 09 12

Secrétaire général
Jean-Louis Champeaux : 06 89 12 25 24

Secrétaire adjoint
Danielle Garnier : 06 52 42 65 60

Trésorier
Jean-Claude Biguet : 06 03 50 03 47

Trésorier adjoint
Patrick Leroy : 01 69 40 03 21

Renfort bureau
Emmanuel Celhay : 05 61 42 34 10

Autres membres du CA
Jean Coiffier : 05 61 13 65 25
Anne Fournier : 06 33 00 39 13
Marc Gillet : 09 67 29 75 45
Jean-Paul Giorgetti : 06 63 24 96 31
Maurice Imbard : 06 70 76 64 95
Laurent Merindol : 04 76 49 10 35
Marc Murati : 02 98 07 30 99
Claude Nano-Ascione : 02 23 15 79 96
Jean Pailleux : 05 61 06 76 11

Adresse de l'association

– à Trappes :
7, rue Teisserenc-de-Bort
CS70588 78197 Trappes Cedex

– à Saint-Mandé :
AAM Météo-France
73, avenue de Paris
94165 Saint-Mandé Cedex

Couverture : aquarelle de Nadine Cénac

CORRESPONDANTS RÉGIONAUX

Centre-Est…
• Laurent Merindol : 04 76 49 10 35
17 rue Charrel
38000 Grenoble
Ile-de-France…
• Jean Tardieu : 01 46 31 09 12
55 chemin de la vallée aux loups
92290 Chatenay-Malabry
Hauts de France…
• Jean-Jacques Vichery : 03 20 32 89 81
20 rue George Sand
59710 Avelin
La Réunion…
• Guy Zitte : 02 62 30 68 14
13 cité Océan Montgaillard
97400 Saint Denis de la Réunion
Ouest…
• Jean-Paul Bénec'h : 02 97 47 53 02
6 rue de Mangorvennec
56980 Saint Avé
Sud-Est…
• Jean-Louis Plazy : 06 61 54 12 47
Mas de Payan
13310 St-Martin de Crau
Sud-Ouest…
• Jean Pailleux : 05 61 06 76 11
3 impasse Marat
31170 Tournefeuille

WEBMASTER DU SITE AAM

• Marc Murati : 02 98 07 30 99 20
rue de la gare
29460 Dirinon

Secrétariat de l'AAM
à Trappes, Joëlle Tonnet
téléphone : 01 30 13 61 65

courriel: association.aam@meteo.fr

Bulletin quadrimestriel publié par l'association des anciens de la météorologie
7 rue Teisserenc de bort
CS70588 78190 Trappes

Directeur de la publication
CHRISTINE DREVETON

Rédacteur en chef :
PIERRE CHAILLOT

Comité de rédaction :
MICHEL BEAUREPAIRE
JEAN-MICHEL BIDÉONDO
PIERRE CHAILLOT
JEAN-PIERRE CHALON
JEAN-LOUIS CHAMPEAUX
MICHEL RUCHON
FRANÇOISE TARDIEU
JEAN-JACQUES VICHERY

conception, réalisation, impression: DG/COM/CGN (Météo-France) ISSN 1298-3152

n° SIRET: 49324 104 6000 17

9771270511114

arc en ciel, numéro spécial n° 13 - octobre 2020